



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Rampenbewirtschaftung: Anforderungen an Regelungs- verfahren

Gestion coordonnées des rampes

Ramp metering: requirements for the control procedures

Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann
Dr. F. Bühlmann, dipl. Ing. ETH/SVI/SIA
M. Laube, dipl. Ing. ETH / SVI

Marty + Partner Ingenieurbüro AG
A. Winter, dipl. Ing. HTL
U. Reding, dipl. Ing. HTL

**Forschungsprojekt VSS 2007/302 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Dezember 2015

1544

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Rampenbewirtschaftung: Anforderungen an Regelungs- verfahren

Gestion coordonnées des rampes

Ramp metering: requirements for the control procedures

Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann
Dr. F. Bühlmann, dipl. Ing. ETH/SVI/SIA
M. Laube, dipl. Ing. ETH / SVI

Marty + Partner Ingenieurbüro AG
A. Winter, dipl. Ing. HTL
U. Reding, dipl. Ing. HTL

**Forschungsprojekt VSS 2007/302 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Dr. Fredi Bühlmann, dipl. Ing. ETH/SVI/SIA

Mitglieder

Laube Marc, dipl Ing. ETH/SVI

Alex Winter, dipl. Ing. HTL

Urs Reding, dipl. Ing. HTL

Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Betrieb

Begleitkommission

Präsident

Bischofberger Nikolaus

Mitglieder

Aellen Roland

Bütler Ruedi

Christen Jürg

Ferella Falda Mauro

Haas Thomas

Huber Clemens

Meng Georg

Maillard Patrick

Winzer Thomas

Schiess Daniel

KO-Finanzierung des Forschungsprojekts

Kanton Zürich Volkswirtschaftsdirektion

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	9
Résumé	11
Summary	15
1 Ausgangslage.....	17
1.1 Autobahnanschlüsse als Problemstellen im Netz	17
1.2 Rampenbewirtschaftung als Teil Verkehrsmanagement	17
1.3 Zielsetzungen	18
1.4 Vorgehen.....	18
2 Grundlagen	21
2.1 Wirkungsweise der Rampenbewirtschaftung	21
2.2 Steuerungsstrategie	21
2.2.1 Lokale Steuerung	21
2.2.2 Kaskadierte Steuerung.....	22
2.2.3 Dosierungsgrad	22
2.2.4 Zuflussmenge in Abhängigkeit der Umlaufzeit.....	23
2.3 Steuerungmodelle	23
2.3.1 ALINEA - Ansatz	23
2.3.2 RE - Ansatz	24
2.3.3 McMaster - Ansatz (angepasste Version Schweiz)	24
2.3.4 ANCONA - Ansatz.....	24
2.3.5 Pro - Ansatz.....	25
2.3.6 Gestion des rampes; atténuation de congestion en temps réel; autoroutes; limite de vitesse variable; surveillance du trafic routier.....	25
2.4 Erkenntnisse Ausland	25
2.5 Erkenntnisse Schweiz	26
2.5.1 Rampenbewirtschaftung A1 Baden-West, SN 1.4.1 Schwamendingen	26
2.6 Fazit.....	27
3 Wirkungskontrolle A1 / A20 Kanton Zürich	29
3.1 Rampenbewirtschaftung A1 / A20 Limmattal – Nordring	29
3.1.1 Massnahmen A1 / A20 Limmattal – Nordring	29
3.1.2 Auswirkungen auf Verkehrsablauf Stammlinie	29
3.1.3 Wirkung der kaskadierten Steuerungsstrategie	30
3.2 Auswirkung auf Verkehrsablauf auf Rampen.....	31
3.2.1 Erkenntnisse aus der Wirkungsanalyse	32
3.2.2 Optimierung Rampenbewirtschaftung A1 / A20 Limmattal / Nordring	32
3.3 Lage der Anschlüsse	32
3.3.1 Anschlusstypen	32
3.3.2 Lokales Bewirtschaften	35
3.3.3 Anschluss vor Verzweigung (Typ 3).....	36
3.4 Erkenntnisse aus Bestandesaufnahme	38
3.4.1 Steuerung generell.....	38
3.4.2 Einsatzmöglichkeiten	38
4 Anforderungen an Rampenbewirtschaftungen.....	41
4.1 Anforderung an Steuerungsstrategie	41
4.1.1 Steuerungsansatz	41
4.1.2 Leistungsfähigkeit	41
4.1.3 Umlaufzeit	41
4.2 Anforderung an Steuerungsmodell	42

4.2.1	Reaktion auf Änderungen im Verkehrsfluss auf Stammlinie	42
4.2.2	Reaktion auf Überstauen der Rampe	42
4.3	Anforderung an Ausrüstung	43
4.3.1	Länge des Stauraumes	43
4.3.2	Lage des Stauraumes	43
4.3.3	Messquerschnitt	44
5	Kenngrossen und Störfallerkennung	45
5.1	Kenngrossen des Verkehrsablaufes	45
5.2	Fundementdiagramm	45
5.3	Störfallerkennung auf der Stammlinie	46
5.3.1	Kenngrossen	46
5.3.2	q-b - Diagramm	47
5.3.3	Stauerkennung	48
6	Steuerung der Rampenbewirtschaftung	49
6.1	Betriebsart der Rampenbewirtschaftung	49
6.2	Grundlagen des Regelungsverfahrens	49
6.3	Anforderungen an den Steueralgorithmus	50
6.3.1	Bestimmen Verkehrsablauf auf Stammlinie	50
6.3.2	Bestimmen Verkehrsablauf auf Rampe	52
6.4	Regelungsverfahren	54
6.4.1	Erkennung gestörter Verkehrsablauf	54
6.4.2	Erkennung ungestörter Verkehrsablauf	55
6.4.3	Festlegung der Umlaufzeit	56
6.4.4	Überprüfen der Staulänge	57
6.5	Anforderung an die Parametrierung	58
7	Pilotversuch	59
7.1	Übersicht	59
7.2	Anschluss Wallisellen / Neuguet	59
7.3	Rampe mit verlängerter Einfahrt	60
7.3.1	Verlängerung Beschleunigungsstreifen	60
7.3.2	Querschnittsanpassungen Fahrbahn Richtung St. Gallen	61
7.3.3	Zufahrt für Fahrzeuge der Blaulichtorganisationen	61
7.4	Signalisation	62
7.5	Steuerung und Phasenablauf	64
7.5.1	Steueralgorithmus	64
7.5.2	Umlaufzeiten und Leistungsangebot	65
8	Auswertungen Steuerungsablauf	67
8.1	Ausgewertete Zeiträume	67
8.2	Betriebsdauer Rampenbewirtschaftung	67
8.3	Einfahrtsrampe	68
8.3.1	Belastung und Prognosewerte	68
8.3.2	Umlaufzeiten	69
8.4	Akzeptanz der Rampen-LSA	70
9	Verkehrsablauf auf der Stammlinie	73
9.1	Übersicht	73
9.2	Autobahndreieck Brütisellen	73
9.3	Fahrstreifenaufteilung auf der Stammlinie	74
9.4	Belastung während Abendspitze	75
9.5	Geschwindigkeitsverlauf Stammlinie I	76
9.6	Rückstau auf Stammlinie	76
9.7	Wirkung der Rampenbewirtschaftung	77

10	Folgerungen und Fazit.....	81
10.1	Einsatzmöglichkeiten	81
10.2	Steuerung infolge Verkehrsgeschehen auf Stammlinie	82
10.3	Steuerung infolge Verhältnisse auf Rampe	82
10.4	Wirkung und Grenzen der Rampenbewirtschaftung	83
11	Empfehlungen	85
	Anhänge	89
	Glossar	94
	Literaturverzeichnis	95
	Projektabschluss	97
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	101

Zusammenfassung

Mit der Rampenbewirtschaftung besteht die Möglichkeit, an der Nahtstelle zwischen den über- und untergeordneten Netzen den Verkehrsablauf zu beeinflussen und somit in den Anschlussbereichen zu einer sicheren und störungsfreien Abwicklung der Verkehrsströme beizutragen. Mit der Forschungsarbeit konnten einerseits die Wirkung der Rampenbewirtschaftungen in Abhängigkeit der Netzstruktur aufgezeigt und andererseits die Anforderungen an die Regelungsverfahren für Rampenbewirtschaftungen definiert sowie die Einsatzmöglichkeiten und Randbedingungen dieser Anlagen aufgezeigt werden.

Bei Rampenbewirtschaftungen kann zwischen folgenden Einsatzmöglichkeiten unterschieden werden:

- vermeiden von einfahrenden Fahrzeugpulks und mit Einzelfahrzeugsteuerung stabilen und staufreien Verkehrsablaufs gewährleisten (→ Verkehrssicherheit)
- zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren von Rückstaus auf der Autobahn (Verlagern des Staus von der Autobahn auf die Rampe)

In der ersten Phase wurde die Wirkung der kaskadierten Steuerung anhand der Rampenbewirtschaftungen im Untersuchungsgebiet A1 / A20 Limmattal – Nordring (Kanton Zürich) untersucht und die Art der Anschlüsse entsprechend typisiert. In der zweiten Phase der Forschungsarbeit wurden auf den Erkenntnissen der Phase 1 die Anforderungen an die Steuerungsstrategie definiert. In der dritten Phase, nach Umsetzung des Steuerungsansatzes beim Anschluss ZH-Wallisellen, erfolgte eine Wirkungsprüfung der Rampenbewirtschaftung an diesem hoch belasteten Anschluss.

Die Auswertung der Rampenbewirtschaftungen im Untersuchungsgebiet A1 / A20 Limmattal – Nordring (Kanton Zürich) zeigte, dass die Lage des Anschlusses im Bezug zum Leistungseingang der Stammlinie massgebend für die Wirkung der Rampenbewirtschaftung ist. Anhand der Situation im Untersuchungsgebiet konnten drei Anschlussstypen bestimmt werden.

Typ	Beschrieb	Zweck	Auswirkung	Wirkung
1	Anschluss unmittelbar vor oder im Bereich der Stauwurzel	Einzelfahrzeugsteuerung gewährleistet stabilen Verkehrsablauf	keine oder nur geringe Beeinflussung der Leistungsfähigkeit der Rampe	Nutzen gross Verlagerung klein
2	Keine Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel	Zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren des Rückstaus auf HLS	reduziert gezielt Leistungsfähigkeit auf der Rampe	Nutzen gering Verlagerung mittel
3a	Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel; Rückstau über Verflechtungsstrecke	Kann Blockieren der Verflechtungsstrecken verhindern oder verzögern	Bewirtschaftung auf Rückstau in Verzweigung ausgerichtet	Nutzen gross Verlagerung mittel
3b	Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel; KEIN Rückstau über Verflechtungsstrecke	Zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren des Rückstaus auf HLS	Bevorzugung der Fahrzeuge auf der Autobahn ohne Nutzen für Verkehrsablauf	Nutzen gering Verlagerung gross

- ⇒ Das Bewirtschaften im Bereich der Stauwurzel oder zum Gewährleisten von Verflechtungen weist einen grossen Nutzen auf. Ein geringer bis kleiner Nutzen weisen Bewirtschaftungen auf, bei denen zwischen der Stauwurzel und dem bewirtschafteten Anschluss eine Verzweigung oder weitere Anschlüsse liegen. Während der Nutzen der Anlage gering ist, verursachen diese Bewirtschaftungen in der Regel grosse Verkehrsverlagerungen auf das untergeordnete Netz.

Nach dem Definieren der Anforderungen an das Regelungsverfahren (Phase 2) wurde in der verkehrstechnischen Untersuchung beim Anschluss ZH-Wallisellen (Phase 3) das Regelungsverfahren untersucht und analysiert. Die Rampenbewirtschaftung trägt beim Anschluss ZH-Wallisellen zu einem stabileren Verkehrsfluss auf der Stammlinie auf möglichst hohem Leistungsniveau bei und vermeidet konflikträchtige Einfädelungsvorgängen und Fahrstreifenwechsel durch das Aufteilen von einfahrenden Fahrzeugpuls. Durch die Rampenbewirtschaftung wird die Leistung des Anschlusses nicht reduziert sondern die zufahrenden Fahrzeugpuls so aufgeteilt, dass die Fahrzeuge einzeln in die Stammlinie einfahren.

Der Autobahnanschluss ZH-Wallisellen weist während der Abendspitze eine Belastung von über 1'100 Fz/h auf. Dies führt zu Belastungen auf dem nachfolgenden dreistreifigen Abschnitt von bis zu 6'000 Fz/h. Trotz der ungünstigen örtlichen Randbedingungen (die Einfahrt Wallisellen liegt rund 1'800 m vor dem Autobahndreieck Brüttisellen, damit überlagern sich die Fahrstreifenwechsel infolge Einfahrt und Verzweigung), welche die Wirkung der Rampenbewirtschaftung beeinflussen, konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden.

- ⇒ Mit der Bewirtschaftung der Rampe können die Fahrzeugpuls aufgelöst werden, so dass die Fahrzeuge einzeln auf die Stammlinie einfahren. Trotz den hohen Belastungen auf der Einfahrtsrampe, die zu sehr kurzen Umlaufzeiten führt, konnte dieses Ziel weitgehend erreicht werden.
- ⇒ Die Länge der mittleren Zeitlücken konnte mit der Bewirtschaftung der Rampe erhöht und der Anteil zu kurzer Zeitlücken reduziert werden. Die längeren Zeitlücken führen zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit und tragen so zu einem stabileren Verkehrsablauf bei.
- ⇒ Mit der der Bewirtschaftung der Rampe konnte der Geschwindigkeitseinbruch auf der Stammlinie verzögert werden. Aufgrund der hohen Belastung auf der Einfahrtsrampe, die zu sehr kurzen Umlaufzeiten führt, jedoch nicht verhindert werden kann.
- ⇒ Bei Umlaufzeiten unter vier Sekunden (= Belastung auf Rampe über 900 Fz/h) nimmt die Wirkung der Bewirtschaftung ab. Die Abstände der Fahrzeuge sind zu kurz um ein konfliktfreies Einfahren auf die Stammlinie gewährleisten zu können.
- ⇒ Mit der Bewirtschaftung der Rampe kann die hohe Anzahl Fahrstreifenwechsel im Zufahrtbereich zum Autobahndreieck Brüttisellen nicht vermieden werden.
- ⇒ Ein überlanger Beschleunigungsstreifen ermöglicht den einfahrenden Fahrzeuglenkenden eine bessere Anpassung an den Verkehrsablauf auf dem Normalstreifen und gewährleistet eine erhöhte Sicherheit beim Einfahren auf die Stammlinie.
- ⇒ Rückstaus auf der Stammlinie im Zufahrtbereich zum Autobahndreieck Brüttisellen führen dazu, dass sich die einfahrenden Fahrzeuge teilweise auf dem Beschleunigungsstreifen stauen. Diese Rückstaus sind jedoch nicht auf die Bewirtschaftung der Rampe zurückzuführen.

Mit den Ergebnissen der Untersuchungen konnten die Anforderungen an das Regelungsverfahren festgelegt und Vorgaben für die Ausgestaltung sowie die Steuerung der Rampenbewirtschaftung angegeben werden. Damit eine optimale Wirkung und Akzeptanz der Rampenbewirtschaftung erzielt wird, werden die folgenden Massnahmen empfohlen:

- frühzeitiges Erkennen von Änderungen des Verkehrsflusses (Einschalten bei Verdichtung und Ausschalten bei Normalisierung des Verkehrsflusses auf der Stammlinie)
- keine Schaltungen bei Einzelereignissen von weniger als drei Minuten
- mit einem Stabilitätstest (Iteration) soll ein Flattern der Steuerung (Ein- und Ausschalten innerhalb kurzer Zeitabstände) verhindert werden
- klare Definition der Ein- und Ausschaltkriterien für Zuverlässigkeit der Steuerung
- rechtzeitiges Erkennen der Überstaugefahr des vorgelagerten Knotens
- benutzerfreundliche Parametrierung sowie Anpassung der Grenzwerte für einfaches Kalibrieren der Steuerung
- sehr hohe Wartezeiten (>10 min) auf den Rampen werden von den Fahrzeuglenkenden nicht akzeptiert (Ausweichverkehr auf das untergeordnete Netz)

Résumé

Avec la gestion des rampes d'accès, il est possible d'influer sur le déroulement du trafic au niveau de l'interface entre les réseaux supérieur et inférieur et, par conséquent, de contribuer à un déroulement sûr et sans dérangements des flux de circulation dans les zones de raccordement. • À travers les travaux de recherche, nous avons d'une part montré l'efficacité de la gestion des rampes d'accès en liaison avec l'infrastructure du réseau. D'autre part, nous avons pu définir les exigences posées aux procédés de régulation s'appliquant à la gestion des rampes et présenter les possibilités d'utilisation ainsi que les conditions particulières propres à ces installations.

On distingue les possibilités d'utilisation suivantes dans la gestion des rampes d'accès:

- éviter les congglomérats de véhicules qui entrent sur la voie et, avec la régulation unitaire des véhicules, garantir une circulation stable et sans embouteillages (→ sécurité du trafic)
- retenue de véhicules pour réduire les embouteillages sur l'autoroute (déplacement de l'embouteillage de l'autoroute vers la rampe d'accès)

Dans une première phase, l'efficacité de la régulation en cascade au moyen de la gestion des rampes dans la zone d'étude A1/A20 Limmattal - Nordring (canton de Zurich) a été étudiée et le type de raccordement a été identifié. Lors de la seconde phase des travaux de recherche, les exigences posées à la stratégie de régulation ont été définies sur la base des enseignements recueillis suite à la phase 1. Dans une troisième phase, après la mise en œuvre de la stratégie de régulation au niveau du raccordement ZH-Wallisellen, un contrôle de l'efficacité de la gestion des rampes d'accès a été effectué au niveau de ce raccordement à forte densité de trafic.

Suite à l'analyse de la gestion des rampes dans la zone d'étude A1/A20 Limmattal – Nordring (canton de Zurich), il s'avère que la situation du raccordement par rapport au goulet d'étranglement de la voie principale revêt une importance déterminante pour l'efficacité de la gestion des rampes d'accès. Trois types de raccordement ont été définis sur la base de la situation dans la zone d'étude.

Type	Description	But	Répercussion	Effets
1	Raccordement immédiatement avant ou dans la zone de la source de l'embouteillage	La régulation unitaire des véhicules garantit un déroulement stable du trafic	Aucun effet ou effet négligeable sur l'efficacité de la rampe	Intérêt élevé Détournement de trafic réduit
2	Pas de ramification entre le raccordement et la source de l'embouteillage	Retenue de véhicules pour réduire l'embouteillage sur les routes à grand débit	Réduit de manière ciblée les performances sur la rampe d'accès	Intérêt faible Détournement de trafic moyen
3a	Ramification entre le raccordement et la source de l'embouteillage; embouteillage sur la zone de changements de voie	Peut empêcher ou retarder le blocage des zones de changements de voie	La gestion est ciblée sur l'embouteillage dans la ramification	Intérêt élevé Détournement de trafic moyen
3b	Ramification entre le raccordement et la source de l'embouteillage; PAS d'embouteillage sur la zone de changements de voie	Retenue de véhicules pour réduire l'embouteillage sur les routes à grand débit	Préférence donnée aux véhicules sur l'autoroute sans intérêt pour le déroulement du trafic	Intérêt faible Détournement de trafic élevé

- ⇒ La gestion dans la zone de la source de l'embouteillage ou pour la garantie des changements de voies présente un intérêt élevé. La gestion qui implique la présence d'une ramification ou d'autres raccordements entre la source de l'embouteillage et le raccordement géré présente un faible intérêt. Alors que l'intérêt de l'installation est faible, ce type de gestion entraîne en général de grands détournements de trafic sur le réseau inférieur.

Après la définition des exigences posées au procédé de régulation (phase 2), ce dernier a été analysé et examiné dans l'étude technique du trafic au niveau du raccordement ZH-Wallisellen (phase 3). La gestion des rampes d'accès au niveau du raccordement ZH-Wallisellen contribue à un flux du trafic plus stable sur la voie principale avec un niveau de performances optimal et évite les variations soudaines de vitesse et les changements de voies de circulation du fait de la division de conglomerats de véhicules entrants. Grâce à la gestion des rampes d'accès, les performances du raccordement ne sont pas réduites, mais les conglomerats de véhicules entrants sont divisés de sorte que les véhicules accèdent de manière individuelle à la voie principale.

Pendant les pics de circulation du soir, le raccordement d'autoroute de ZH-Wallisellen affiche une charge de trafic de plus de 1'100 véhicules par heure. Ceci entraîne des charges sur la section à trois voies située après, où la charge de trafic atteint jusqu'à 6'000 véhicules par heure. Malgré les conditions locales défavorables (l'accès de Wallisellen se trouve à environ 1'800 mètres en amont de l'échangeur à trois branches de Brüttisellen, ainsi les changements de voies de circulation se recoupent suite à l'accès et à la ramification) qui influent sur l'efficacité de la gestion des rampes d'accès, les enseignements suivants ont pu être recueillis.

- ⇒ La gestion de la rampe d'accès permet de «dissoudre» les conglomerats de véhicules de sorte que les véhicules entrent sur la voie principale de manière individuelle. Malgré les charges de trafic élevées sur la rampe d'accès qui entraîne des durées de cycle très courtes, cet objectif a pu être atteint dans une large mesure.
- ⇒ La durée des intervalles de temps intermédiaires a pu être augmentée avec la gestion des rampes et la proportion d'intervalles de temps trop courts a été réduite. Les intervalles de temps prolongés permettent une amélioration de la sécurité du trafic et contribuent ainsi à un déroulement du trafic plus stable.
- ⇒ Avec la gestion de la rampe, la chute de la vitesse sur la voie principale a pu être retardée. Toutefois, en raison de la charge de trafic élevée sur la rampe d'accès qui entraîne des durées de cycle très courtes, la chute de la vitesse ne peut être évitée.
- ⇒ En cas de durées de cycle inférieures à quatre secondes (= charge de trafic sur la rampe supérieure à 900 véhicules par heure), l'efficacité de la gestion diminue. Les écarts entre les véhicules sont trop réduits pour permettre une entrée non conflictuelle des véhicules sur la voie principale.
- ⇒ La gestion de la rampe ne permet pas d'éviter le nombre élevé de changements de voies de circulation dans la zone d'accès à l'échangeur à trois branches de Brüttisellen.
- ⇒ Une voie d'accélération rallongée permet aux automobilistes qui entrent sur l'autoroute de mieux s'adapter au déroulement du trafic sur la voie principale et garantit en outre une plus grande sécurité lors de l'accès sur la voie principale.
- ⇒ Les embouteillages sur la voie principale dans la zone d'accès à l'échangeur à trois branches de Brüttisellen provoquent une retenue des véhicules qui entrent sur la voie d'accélération. Ces embouteillages ne sont toutefois pas liés à la gestion de la rampe d'accès.

Les résultats des analyses ont permis de définir les exigences posées à la méthode de régulation et de déterminer les directives pour la conception et le pilotage de la gestion des rampes. Pour garantir une efficacité et une acceptation optimales de la gestion des rampes, les mesures suivantes sont recommandées:

- identification précoce des modifications du flux de la circulation (activation lors de la densification du trafic et désactivation lorsque le trafic redevient normal sur la voie principale)

- pas d'activation en cas d'événements individuels de moins de trois minutes
- un test de stabilité (itération) doit permettre d'éviter un flottement de la gestion (activation et désactivation dans les intervalles rapprochés)
- définition claire des critères d'activation et de désactivation pour la fiabilité de la gestion
- identification à temps du risque d'embouteillage au niveau du nœud en amont
- paramétrage convivial et adaptation des valeurs limites pour un étalonnage facile de la gestion
- des temps d'attente très longs (> 10 minutes) sur les rampes ne seront pas acceptés par les automobilistes (trafic dévié vers le réseau inférieur)

Summary

Slip-road management makes it possible to control the traffic flow at the junction between the primary and secondary networks and thus contribute to the safe and unimpeded handling of the flows of traffic in the connection areas. The research has not only made it possible to demonstrate the impact of slip-road management depending on the network structure, but also to define the requirements of the control procedures in slip-road management and to demonstrate the possible applications and boundary conditions of these systems.

Distinction can be made between the following possible applications of slip-road management systems:

- Preventing groups of vehicles driving on and ensuring a stable and congestion-free traffic flow with individual vehicle control (→ traffic safety)
- Holding back vehicles to reduce tailbacks on the motorway (shifting the congestion from the motorway to the slip road)

In the first phase, the impact of cascaded control using slip-road management was investigated in the study area of the A1 / A20 Limmattal – Nordring (canton of Zurich) and the types of junctions were classified accordingly. In the second phase of the research, the requirements of the control strategy were defined based on the findings from phase 1. In the third phase, after implementing the control approach at the ZH-Wallisellen junction, an evaluation of the effectiveness of the slip-road management was carried out at this heavily used junction.

The analysis of the slip-road management systems in the study area of the A1 / A20 Limmattal – Nordring (canton of Zurich) showed that the location of the junction in relation to the capacity bottleneck of the main route is the decisive factor in determining the effectiveness of the slip-road management system. Three connection types were identified based on the situation in the study area.

Type	Description	Purpose	Impact	Effect
1	Junction immediately before or in the area of the root of the traffic jam	Individual vehicle control ensures stable traffic flow	Little or no impact on the slip-road capacity	Large benefit Small shift
2	The road does not branch off between the junction and the root of the traffic jam	Holding back vehicles to reduce the tailback on the high-capacity road	Deliberately reduces capacity on the slip road	Small benefit Medium shift
3a	The road branches off between the junction and the root of the traffic jam; tailback along the weaving section	Can prevent or delay jams on the weaving sections	Management focuses on tailback on the branch road	Large benefit Medium shift
3b	The road branches off between the junction and the root of the traffic jam; NO tailback along the weaving section	Holding back vehicles to reduce the tailback on the high-capacity road	Priority for vehicles on the motorway with no benefit for the traffic flow	Small benefit Large shift

⇒ A large benefit can be gained by implementing management systems in the area of the root of the traffic jam or in order to allow weaving. Little or no benefit can be gained from management systems in which the road branches off or there are additional junctions between the root of the traffic jam and the managed junction. Whilst the

system's benefits are small, these management approaches usually cause major traffic shift to the secondary network.

After defining the requirements of the control procedure (phase 2), this was examined and analysed in the traffic study at the ZH-Wallisellen junction (phase 3). Slip-road management contributes to a more stable flow of traffic on the main route at the ZH-Wallisellen junction at the highest possible capacity and avoids conflict-prone merging processes and lane changes by dividing up groups of vehicles driving on. The capacity of the junction is not reduced as a result of the slip-road management; instead, the approaching groups of vehicles are divided up in such a way that the vehicles join the main route individually.

The ZH-Wallisellen motorway junction experiences loads of over 1'100 vehicles per hour during evening peak time. This leads to loads of up to 6'000 vehicles per hour on the subsequent three-lane section. In spite of the unfavourable local boundary conditions (the Wallisellen entrance is around 1'800 m before the Brüttisellen interchange, and so the lane changes overlap due to the entrance and the branch-off), which influence the effectiveness of the slip-road management, the following insights were gained.

- ⇒ By managing the slip road, groups of vehicles can be broken up, so that vehicles can join the main route individually. In spite of the high loads on the entry slip-road, which lead to very short cycle times, this goal was largely achieved.
- ⇒ By managing the slip road, it was possible to increase the length of the average time gaps and reduce the amount of time gaps that are too short. The longer time gaps lead to an increase in traffic safety and thus contribute to a more stable traffic flow.
- ⇒ By managing the slip road, it was possible to delay the speed drop on the main route. However, due to the high loads on the entry slip road, which lead to very short cycle times, this could not be prevented.
- ⇒ For cycle times under four seconds (= loads of over 900 vehicles per hour on the slip road), the effect of the management decreases. The distance between vehicles is too small to be able to ensure a conflict-free entry to the main route.
- ⇒ The high number of lane changes in the joining area of the Brüttisellen motorway interchange cannot be avoided by managing the slip road.
- ⇒ An extra-long acceleration lane allows the joining drivers to better adjust to the traffic flow in the normal lane and ensures increased safety when joining the main route.
- ⇒ Tailbacks on the main route in the joining area of the Brüttisellen motorway interchange lead to joining vehicles sometimes backing up in the acceleration lane. However, these tailbacks are not due to the slip-road management.

The results of the investigations allowed the requirements of the control procedure to be defined and the specifications for the design and control of the slip-road management system to be set out. To ensure that the slip-road management is optimally effective and accepted, the following measures are recommended:

- Early recognition of changes in the traffic flow (activated during congestion and deactivated when the traffic flow on the main route normalises)
- No switching for individual events lasting less than three minutes
- A stability test (iteration) should prevent the control from fluttering (activating and deactivating within short intervals)
- A clear definition of the activation and deactivation criteria to ensure the reliability of the control
- Timely recognition of the risk of excessive congestion at the upstream node
- User-friendly parametrisation and adjustment to the limits to enable simple calibration of the control
- Very high waiting times (>10 min) on the slip-roads will not be accepted by drivers (diverted traffic on the secondary network)

1 Ausgangslage

1.1 Autobahnanschlüsse als Problemstellen im Netz

Ein wesentlicher Standortfaktor für attraktive Städte und Regionen ist eine gut funktionierende Verkehrsinfrastruktur. Das Gewährleisten der Verkehrsabläufe auf einer hohen Qualität gehört deshalb mit zu den vordringlichen Aufgaben der zuständigen Stellen. In Zukunft muss insbesondere in den Agglomerationsgürteln mit weiteren deutlichen Verkehrszunahmen gerechnet werden. Dabei soll möglichst viel Verkehr auf das Netz der Hochleistungsstrassen (HLS) gebündelt werden. Mit der zunehmenden Konzentration des Verkehrs auf die HLS werden die Anschlussbereiche vermehrt zu Problemstellen. Die Mittel für Ausbau, Unterhalt und Betrieb der Verkehrsnetze sind knapp. Die Gestaltung und Weiterentwicklung der Verkehrssysteme wird immer mehr zu einer umfassenden Managementaufgabe, bei der sehr unterschiedliche Anforderungen und Prozesse zu berücksichtigen sind. Zur sicheren und störungsfreien Abwicklung der Verkehrsströme in den Anschlussbereichen soll mit der Rampenbewirtschaftung ein wesentlicher Beitrag geleistet werden.



Abb. 1 Überlastete Autobahneinfahrt

1.2 Rampenbewirtschaftung als Teil Verkehrsmanagement

Bis anhin wurde versucht, den durch das hohe Verkehrsaufkommen in den Ein- und Ausfahrten der HLS auftretenden Probleme durch Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf der HLS (Beeinflussung auf der Strecke) und durch Lichtsignalanlagen (Beeinflussung an Knoten) im untergeordneten Netz entgegenzuwirken. Mit der Rampenbewirtschaftung besteht die Möglichkeit, an der Nahtstelle zwischen den über- und untergeordneten Netzen den Verkehrsablauf zu beeinflussen. Somit wird die Rampenbewirtschaftung zu einem Teil eines integrierten Verkehrsmanagements und die Steuerungsstrategie hat die Wechselwirkung zwischen den Massnahmen auf der HLS und im untergeordneten Netz zu berücksichtigen.

1.3 Zielsetzungen

Mit der Forschungsarbeit sind die Anforderungen an die Regelungsverfahren für Rampenbewirtschaftungen zu definieren und die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen aufzuzeigen. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund:

- Welche Einsatzmöglichkeiten und Grenzen für die Rampenbewirtschaftung bestehen?
- Kann die geforderte Wirkung erzielt und auch langfristig gesichert werden?
- Mit welchem Vorgehen sollen Rampenbewirtschaftungen geplant, projektiert und realisiert werden?
- Welches sind die geeigneten Regelungsverfahren und wie müssen sie in das integrierte Verkehrsmanagement eingebettet sein?



Abb. 2 Einfahrt mit Rampenbewirtschaftung

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit sollen klare Vorgaben zum Einsatz und zur Planung, Projektierung und Realisierung von Rampenbewirtschaftungen abgeleitet und somit ein möglichst einheitliches Erscheinungsbild dieser speziellen Art der Verkehrssteuerung erzielt werden.

Nicht Gegenstand des Forschungsprojektes sind die Auswirkungen der Rampenbewirtschaftung auf das angrenzende Hauptverkehrsstrassennetz.

1.4 Vorgehen

Das Vorgehen gliedert sich in zwei Phasen. In der ersten Phase werden auf der Basis der Anschlusstypen und Netzstrukturen sowie der übergeordneten Anforderungen der Verkehrsmanagementpläne und der Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf der HLS die Grundtypen der Rampenbewirtschaftung definiert.

Aus diesen Erkenntnissen werden die Anforderungen an das Regelungsverfahren festgelegt und die Ausgestaltung sowie die Steuerung der Rampe definiert. Zudem werden daraus die Bedürfnisse der dazu notwendigen Infrastruktur abgeleitet.

Mit diesen Vorgaben wird die Rampenbewirtschaftung beim A1 Anschluss Wallisellen (Kanton Zürich) als Politbetrieb eingerichtet. Mit dem Erfassen und Analysieren unterschiedlicher Kenngrößen werden Einsatztauglichkeit und Zielerreichung überprüft und beurteilt. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse können allfällige Rückschlüsse auf Ausgestaltung und Betrieb der Rampenbewirtschaftungen gezogen werden.

Bei der Eingabe des Forschungsgesuches war vorgesehen, den Pilotversuch in Zusammenarbeit mit der Baudirektion des Kantons Zürich zu realisieren. Im Januar 2008 wurde die Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen (NFA) eingeführt und die Zuständigkeit für den Bau und Betrieb der Nationalstrassen sowie deren Anschlussbereiche von den Kantonen an das Bundesamt für Strassen (ASTRA) übergeben. Die Rampenbewirtschaftung beim A1 Anschluss Wallisellen in Fahrtrichtung St. Gallen wurde somit im Rahmen der Unterhaltsplanung Nationalstrassen (UPlaNS) unter der Federführung des ASTRA, Filiale Winterthur, geplant und projektiert. Gemäss den Vorgaben des ASTRA wurde bei den Arbeiten ein verkehrsplannerischer und verkehrstechnischer Teil unterschieden. Die Termine für die einzelnen Arbeitsschritte wurden bei Projektbeginn wie folgt definiert:

Erhaltungskonzept	Frühjahr / Sommer 2011
Massnahmenkonzept	Sommer / Herbst 2011
Massnahmenprojekt	Herbst / Winter 2011
Realisierung	Frühjahr 2012
Inbetriebnahme	Sommer 2012

Das Projekt Rampenbewirtschaftung A1 Anschluss Wallisellen bedingte einerseits diverse Abstimmungen und Abklärungen mit fachtechnischen Gremien innerhalb des ASTRA und andererseits mit dem Projekt Gesamtsanierung der A1 im Abschnitt Zürich – Winterthur. Dadurch konnten die Terminvorgaben nicht eingehalten werden. Die Rampenbewirtschaftung konnte erst im Herbst 2014 in Betrieb genommen werden.

Aus diesen Gründen wurde in Absprache mit den zuständigen Stellen der VSS (Koordinationskommission) und des ASTRA (Forschungskommission) entschieden, die Phasen 1 und 2 gemäss dem ursprünglichen Zeitplan der Forschung im Jahr 2010 abzuschliessen. Die Erhebungen und Auswertungen des Pilotversuchs (Phase 3) wurden im 2014 / 2015 durchgeführt. Die Resultate und die daraus abgeleiteten Empfehlungen flossen in den zweiten Teil der Forschungsarbeit (ab. Kap. 7), der 2015 abgeschlossen werden konnte. Eine Überarbeitung und Aktualisierung (z.B. Literaturlauswertung) des ersten Teils fand nicht statt.

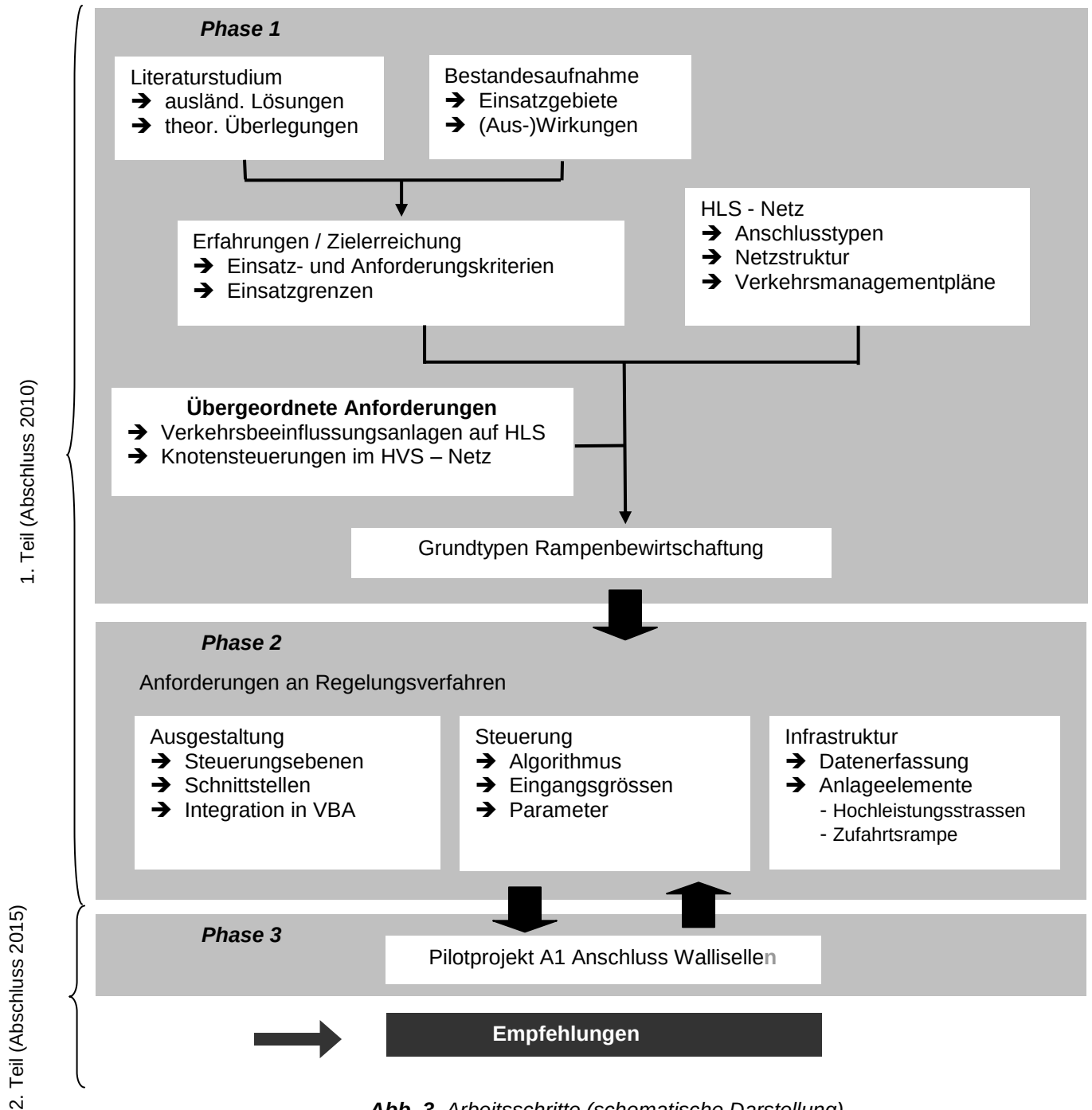


Abb. 3 Arbeitsschritte (schematische Darstellung)

2 Grundlagen

2.1 Wirkungsweise der Rampenbewirtschaftung

Die Rampenbewirtschaftung ist ein Element eines Verkehrsbeeinflussungssystems und soll auf der HLS zu einem stabilen Verkehrsfluss auf möglichst hohem Leistungsniveau beitragen. Mit der Rampenbewirtschaftung werden in der Regel die zufahrenden Fahrzeugpuls aufgelöst, so dass die Fahrzeuge einzeln auf die Stammlinie einfahren.

In Abb. 4 sind die Fahrmanöver bei einem ungesteuerten Anschluss und die Wirkung der Rampenbewirtschaftung schematisch dargestellt.

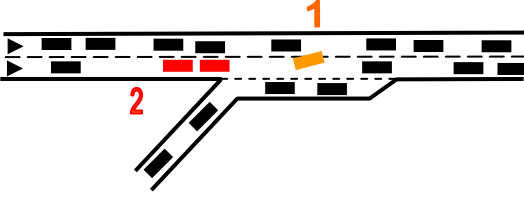
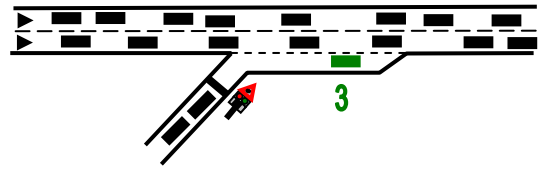
ungesteuerter Anschluss	Anschluss mit Rampenbewirtschaftung
	
- Verdichtung auf Überholstreifen durch Fahrstreifenwechsel im Bereich des Anschlusses - Verdichtung auf Normalstreifen durch Abbremsmanöver auf Normalstreifen - Kapazitätseinbußen durch kurzfristige Spitzenbelastungen - Inhomogener Verkehrsablauf durch Fahrstreifenwechsel und Bremsmanöver	- Fahrzeuge fahren einzeln auf Beschleunigungsstreifen; vorhandene Zeitlücken reichen für konfliktfreies Einfahren - Aufrechterhalten eines stabilen und staufreien Verkehrsablaufs im Bereich der Leistungsfähigkeit - Reduktion der Fahrstreifenwechsel und Bremsmanöver auf der Stammlinie

Abb. 4 Fahrmanöver ungesteuerter Anschluss und Wirkung Rampenbewirtschaftung

2.2 Steuerungsstrategie

2.2.1 Lokale Steuerung

Unter einer lokalen Rampenbewirtschaftung wird das Dosieren des Verkehrs bei einer einzelnen Einfahrtsrampe verstanden. Bei der Einzelfahrzeugsteuerung erhalten die in der Zufahrt wartenden Fahrzeuge einzeln ihre Grünphase. Die Zuflussrate wird über die Länge der Rotphase gesteuert. Einfahrende Fahrzeuge gelangen einzeln auf den Beschleunigungsstreifen und den Einfahrtsbereich. Die Fahrzeuglenkenden können sich auf den Einfädelungsvorgang konzentrieren ohne auf vorausfahrende Fahrzeuge achten zu müssen. Dadurch werden gefährliche Einfahrmanöver und Auffahrunfälle vermindert. Mit der lokalen Steuerungsstrategie werden somit einfahrende Fahrzeugpuls aufgelöst.

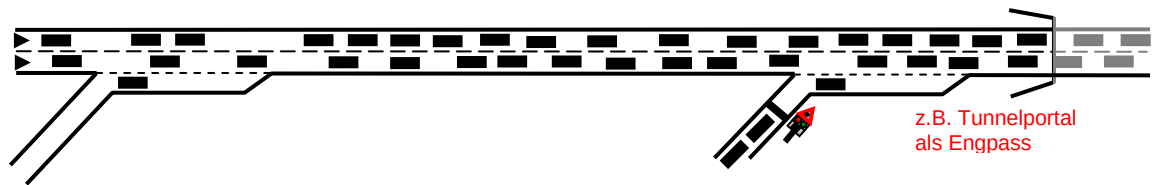


Abb. 5 Lokale Steuerung

2.2.2 Kaskadierte Steuerung

Das Ziel der kaskadierten Steuerung ist der Zufluss über mehrere Anschlussstellen zu steuern. Dabei wird ein längerer Abschnitt der HLS mit mehreren Anschlussstellen als ein System betrachtet. Mit der kaskadierten Steuerung wird aus der Betrachtung des Gesamtsystems die optimale Zuflussrate auf die HLS ermittelt und über die verschiedenen Rampenbewirtschaftungen umgesetzt. Das Ziel dieser Steuerung ist beispielsweise das Verhindern oder Verzögern eines Verkehrszusammenbruchs auf der Stammlinie vor einem Leistungsengpass. Dabei steht nicht das Auflösen der Fahrzeugpuls sondern das Verlagern des Rückstaus von der Stammlinie auf die verschiedenen Rampen im Vordergrund. Somit können bei kaskadierten Steuerungen auch Pulksteuerungen in Betracht gezogen werden.

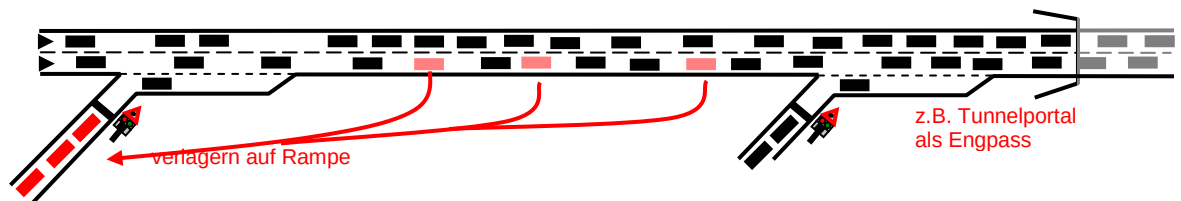


Abb. 6 Kaskadierte Steuerung

Beim bisherigen Einsatz dieser kaskadierten Steuerung konnten hinsichtlich der Auswirkung noch keine signifikanten Unterschiede zu den Einsatzfällen mit lokaler Steuerstrategie festgestellt werden. Die bisherigen Versuche im Ausland zeigten, dass die Parameterjustierung der kaskadierten Steuerung sehr schwierig ist und die gegenseitige Beeinflussung die Feineinstellung mit Anpassung an die örtlichen Verhältnisse nur eingeschränkt möglich ist. In der Schweiz wurde die kaskadierte Steuerung der Rampenbewirtschaftungsanlagen aufgrund der negativen Erfahrungen (lange Rückstaus auf den Rampen ohne deutliche Verbesserungen des Verkehrsablaufes auf der Stammlinie) im Kanton Zürich (Anschlüsse im Limmattal und auf dem Nordring) wieder aufgehoben und auf lokale Steuerungen umgestellt.

2.2.3 Dosierungsgrad

Zur Steuerung der Rampen werden weitgehend verkehrsabhängige Steuerungsstrategien eingesetzt. Dabei werden anhand aktueller Verkehrsdaten die Zuflussraten ermittelt oder aus einem vorgegebenen Raster ausgewählt. Durch das flexible Anpassen der Zuflussrate an wechselnde Verkehrszustände erfolgt eine optimale Kapazitätsausnutzung im Bereich der Einfahrt. Mit einer entsprechenden Stauraumüberwachung auf der Rampe kann auf unerwünschte Auswirkungen auf das untergeordnete Netz reagiert werden.

In Bezug auf den Dosierungsgrad bei der Einschaltung können zwei Strategien unterschieden werden. Während die sanfte Strategie bereits bei ersten Anzeichen einer Verkehrsverdichtung reagiert und nur leicht dosiert (tiefe Umlaufzeit), schaltet bei der schockartige Strategie die Dosierung erst bei einer starken Verdichtung jedoch mit der stärksten Dosierungsstufe (hohe Umlaufzeit) ein. Insbesondere bei kaskadierten Rampenbewirtschaftungen wird mit der schockartigen Strategie gesteuert.

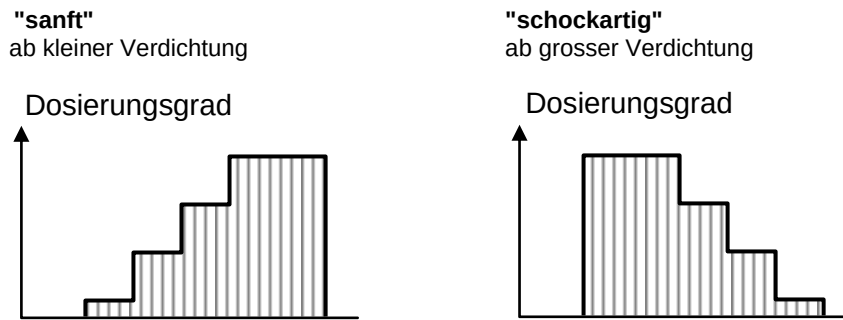


Abb. 7 Unterschiedlicher Dosierungsgrad in Abhängigkeit der Strategie

2.2.4 Zuflussmenge in Abhängigkeit der Umlaufzeit

Die Regelung des Zuflusses erfolgt durch Lichtsignalgeber. Dabei zeigt der Lichtsignalgeber während der Bewirtschaftung eine

- Grünzeit von 2 sec
- eine variierende Rotzeit
- kein Gelb oder Gelb – Rot an.

Zum Gewährleisten einer guten Akzeptanz (Zeitverlust) sollte die maximale Rotzeit pro Umlauf auf 18 sec beschränkt werden. Die Umlaufzeit beträgt in diesem Fall 20 sec und erlaubt eine maximale Dosierung der Zufahrt auf 180 Fz/h. Zum Erhöhen des Zuflusses auf die HLS wird die Rotzeit auf bis zu 2 sec reduziert. Bei einer minimalen Umlaufzeit von vier Sekunden kann eine minimale Dosierung von 900 Fz/h erreicht werden.

Tab. 1 Zuflussmenge in Abhängigkeit der Umlaufzeit

t_u (s)	$t_{\text{Grün}}$ (s)	t_{Rot} (s)	Q_{Einfahrt} (Fz/h)
4	2	2	900
6	2	4	600
8	2	6	450
10	2	8	360
12	2	10	300
14	2	12	260
16	2	14	225
18	2	16	200
20	2	18	180

Die Dosierung ist neben dem Zeitverlust für die einfahrenden Fahrzeuglenkenden auch auf den vorhandenen Stauraum auf der Rampe auszulegen. Ein Überstauen des Sekundärknotens ist in jedem Fall zu verhindern.

Bei gefüllter Rampe muss Bewirtschaftung aufgelöst werden, Fahrzeuge fahren im Pulk in Stammlinie ein und bewirken Stausituation. Rechtzeitig mit Umlaufzeit zurückfahren!

2.3 Steuerungmodelle

2.3.1 ALINEA - Ansatz

Beim ALINEA - Ansatz wird die vorhandene mit der optimalen Belegung stromabwärts abgeglichen. Dabei werden über Voruntersuchungen eine optimale Belegung sowie ein

Korrekturfaktor ermittelt. Die gemessene Belegung am Messquerschnitt wird über den Korrekturfaktor mit der optimalen Belegung abgeglichen. Je nach Differenz wird der Rampenzufluss erhöht oder verringert. Das Modell ist an das Fundamentaldiagramm angelehnt.

Das Grundmodell basiert auf dem ALINEA-Algorithmus. Dabei ermittelt sich der zulässige Zufluss in Abhängigkeit von der Belegung am Querschnitt stromabwärts der Anschlussstelle nach folgender Formel:

$$r_{n+1} = r_n - K_R \cdot (b_n - b_{opt})$$

mit = zulässige Zuflussmenge im Intervall n+1 [Fz/h]
 = vorhandene Zuflussmenge im Intervall n [Fz/h]
 = Korrekturfaktor zur Korrektur des zulässigen Rampenzuflusses [Fz/h %]
 = optimale Belegung, bei der eine maximale Verkehrsmenge ohne Geschwindigkeitseinbruch abgewickelt werden kann [%]
 = gemessene Belegung zum Zeitpunkt n am stromabwärts der Zufahrtsrampe gelegenen Messquerschnitt [%]

2.3.2 RE - Ansatz

Der RE - Ansatz arbeitet auf der Basis der Bemessungsverkehrsstärke Q_B und der Dichte k stromaufwärts der Zufahrt. Die Werte lassen sich aus der Differenzbetrachtung des stromabwärts gelegenen Messquerschnittes zu dem in der Zufahrtsrampe ermitteln. Alternativ wird jeweils der rechte Fahrstreifen oder der Gesamtquerschnitt zur Steuerung herangezogen.

2.3.3 McMaster - Ansatz (angepasste Version Schweiz)

Der McMaster - Ansatz basiert auf der Erfassung des Verkehrszustands und unterscheidet zwischen den Zuständen „staufrei“ und „Stau“. Dazu wird ein Algorithmus verwendet, der eine primäre und zwei sekundäre Grenzen berücksichtigt.

Die primäre Grenze basiert auf dem Fundamentaldiagramm und berücksichtigt die Verkehrsstärke (Q) und den Belegungsgrad (B). Anhand der Parametern α und β und dem Witterungsfaktor (R) können die Grenzwerte pro Fahrstreifen adjustiert werden.

$$Q_g(t) = \alpha \cdot B(t)^\beta \cdot R(t) \qquad R(t) = 0.95 \cdot R(t-1) + 0.05 \cdot Q_g(t) / Q(t)$$

Als sekundäre Grenzen werden der Belegungsgrad $B(t)$ und die Geschwindigkeit $V(t)$ allein berücksichtigt.

2.3.4 ANCONA - Ansatz

Mit dem Ancona Algorithmus können grössere Verkehrsmengen auf der Stammlinie bei weniger langen Wartezeiten auf der Zufahrt verarbeitet werden. Der Ancona Algorithmus lässt kurzzeitig Verkehrsbehinderungen und Rückstaus auf der Stammlinie zu, verhindert jedoch die Ausbreitung des Staus stromaufwärts.

Das ALINEA - Modell hat sich als lokale Steuerungsstrategie in Europa und der Schweiz bewährt. Es basiert auf einer Betrachtung des stromabwärts auf der Stammlinie gelegenen Messquerschnittes und ist demnach eine FEEDFORWARD – Strategie. Als Alternative zum ALINEA - Algorithmus wird vermehrt der Ansatz ANCONA propagiert. Damit können grössere Verkehrsmengen auf der Stammlinie bei weniger langen Wartezeiten auf der Zufahrt verarbeitet werden [7].

2.3.5 Pro - Ansatz

Mit einer Rampenbewirtschaftung kann der Strom der einfahrenden Fahrzeuge beeinflusst werden. Für die Wahrscheinlichkeit eines Verkehrszusammenbruchs ist jedoch die Gesamtbelastung im Engpass verantwortlich. Somit sollten zu Spitzenbelastungen auf der Stammlinie gezielt geringe Zuflüsse addiert werden und kommende Belastungstäler mit den zuvor aufgestauten Fahrzeugen wieder aufgefüllt werden. Gemäss [8] basiert der Pro – Algorithmus auf diesem Ansatz und versucht die Gesamtbelastung im Engpass konstant zu halten. Dabei wird die Stärke der Dosierung der Fahrzeuge auf der Rampe auf die aktuelle Verkehrsbelastung auf der Stammlinie ausgerichtet. Mit dem zeitversetzten Messen der erwarteten Verkehrsbelastung vor dem Anschlussbereich (stromaufwärts) wird die maximal mögliche Verkehrsmenge auf der Rampe bestimmt. Dadurch kann bei genügender Kapazität auf der Stammlinie der Stauraum kurzfristig wieder geleert und das Überstauen der Rampe verhindert werden. Der Ansatz wurde bis anhin erst im Modell getestet.

2.3.6 Gestion des rampes; atténuation de congestion en temps réel; auto-routes; limite de vitesse variable; surveillance du trafic routier

An der ETH Lausanne (EPFL) wurden zwischen 2011 und 2014 die Arbeiten am Projekt VSS2011/914 Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways“ durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war durch eine innovative Kombination von einzelnen Verkehrsmanagementmassnahmen einen Zusammenbruch des Verkehrsflusses länger hinauszögern. Eine koordinierte Bewirtschaftung mehrerer Einfahrten sowie die Koppelung der Einfahrtsbewirtschaftungen mit den dynamischen Verkehrsleitsystemen auf der Autobahn sollen das Risiko des Systemzusammenbruchs bei hohem Verkehrsfluss reduzieren und eine verlässliche Reisezeit ermöglichen..

2.4 Erkenntnisse Ausland

Rampenbewirtschaftungen werden seit Jahren in den Vereinigten Staaten, Deutschland, Italien, Frankreich, England und den Niederlanden betrieben. Die Auswertung der Untersuchungsberichte zeigt, dass positive Ergebnisse mit Steuerungen erreicht wurden, deren Strategien auf der Kapazität beziehungsweise der optimalen Belegung stromaufwärts von der Rampe basieren. Durch das Berücksichtigen der aktuellen Verkehrssituation war es in allen Fällen möglich, auf Verkehrsstörungen im Bereich des geregelten Anschlusses schneller zu reagieren. In fast allen Fällen wurden eine Steigerung der durchschnittlichen Geschwindigkeit und damit ein Rückgang der Reisezeiten festgestellt. Zurückzuführen war dies auf den Abbau der Schockwellen, die vor Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung häufig durch einfahrende Pulks in Spitzenzeiten ausgelöst wurden.

Dank dem Einsatz der Rampenbewirtschaftung konnte ein signifikanter Rückgang der Unfallzahlen auf der Stammlinie festgestellt werden. Eine Zunahme der Unfälle auf den Rampen infolge der Regelung ist es jedoch nicht eingetreten.

Negative Auswirkungen auf das untergeordnete Strassennetz (Verkehrsverlagerungen) wurden in der Regel keine festgestellt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass bei allen untersuchten Einsatzfällen die Rampenbewirtschaftung zur Zerstückelung von Pulks im Verflechtungsbereich mit der Stammlinie durch Einzelfahrzeugregelung eingesetzt werden. Das Anwenden der Rampenbewirtschaftung zur Verlagerung von Staus von der HLS auf die Rampe kann im Ausland nicht beobachtet werden. Dies wirkt sich auch auf eine gute Akzeptanz der Rampenbewirtschaftung aus (Missachtungsgrad ca. 1.3%).

In [8] wird auf die engen Grenzen des Dosierungseffekts der Zuflussregelung aufgrund des begrenzten Stauraums auf der Rampe aufmerksam gemacht. Bereits nach wenigen Minuten mit gedrosseltem Zufluss muss der aufgebaute Rückstau durch eine erhöhte Zuflussrate wieder abgebaut werden mit negativen Auswirkungen auf die Stammlinie.

ziellen Rampensignals oder einer Lichtsignalanlage werden von den Verkehrsteilnehmern akzeptiert. Stau und Wartezeiten beschränken sich auf Fahrstreifen, die zur Autobahn führen, der übrige Verkehr bleibt unbehindert.

- Insgesamt resultiert ein günstiges Nutzen / Kosten – Verhältnis, denn die Vorteile für die Autobahn überwiegen bei weitem die Nachteile für die Einfahrt und die Kosten der Rampenbewirtschaftung sind relativ gering.

2.6 Fazit

Die kaskadierte Steuerung wird aufgrund der Literaturlauswertung nicht oder nur vereinzelt eingesetzt. Das Haupteinsatzgebiet von Rampenbewirtschaftungsanlagen sind Einzelanlagen zum Verbessern des Verkehrsablaufs im Bereich des Anschlusses. Dabei werden im Ausland verschiedene Algorithmen eingesetzt, die alle gewisse Vor- und Nachteile aufweisen. Die bis anhin eingesetzten Algorithmen steuern alle verkehrabhängig den einfahrenden Verkehr in Abhängigkeit des Verkehrsablaufs auf der Stammlinie. Dabei variiert die Umlaufzeit zwischen 4 und 20 Sekunden. Bei allen Steuerungen wird bei einem ungenügenden Verkehrszustand auf der Stammlinie die Umlaufzeit weiter erhöht und so der Zufluss von der Rampe in jedem Intervall weiter reduziert. Dadurch kann sich bei einer entsprechenden Nachfrage auf der Rampe ein kritischer Rückstau bilden, der nur durch eine höhere Zuflussrate als von Algorithmus errechnet oder durch das Ausschalten der Steuerung abgebaut werden kann. Als weitere Massnahme wird bei hochbelasteten Einfahrtsrampen teilweise vom „klassischen“ Ansatz einer Einzelfahrzeugregelung abgewichen, so dass während einer Grünphase mehrere Fahrzeuge einfahren können.

Mit dem Pro - Algorithmus soll die Verkehrsbelastung auf der Rampe stärker in die Steuerung miteinbezogen werden und gesamthaft eine Verbesserung des Verkehrsablaufs erzeugt werden. Dieser neue Ansatz wurde zurzeit jedoch erst im Modell und noch nicht in der Praxis getestet.

Trotz den positiven Erfahrungen, die mit den Rampenbewirtschaftungen gemacht wurden, zeigte sich im Hinblick auf die technische Ausstattung als auch auf das Steuerungsmodell Verbesserungspotenzial. Zum Gewährleisten einer hohen Akzeptanz und zum Verbessern des Steuerungsablaufs wird gemäss Literaturlauswertung empfohlen, die Steuerungen wie folgt anzupassen.

- Rotschaltung durch eine Abmeldeschleife nach dem Signalgeber
- bei wenig Verkehr auf der Rampe „Dauer-Rot“ mit Früh-Grün-Anforderung“ 20 bis 30 m vor dem Signalgeber
- Abschalten der LSA bei stehendem Verkehr auf der Stammlinie wenn ein Zufahren nicht mehr möglich ist
- gleitendes Abschalten um Einfahren von Fahrzeugpuls zu verhindern (Nachlauf der Anlage mit kurzer Umlaufzeit)

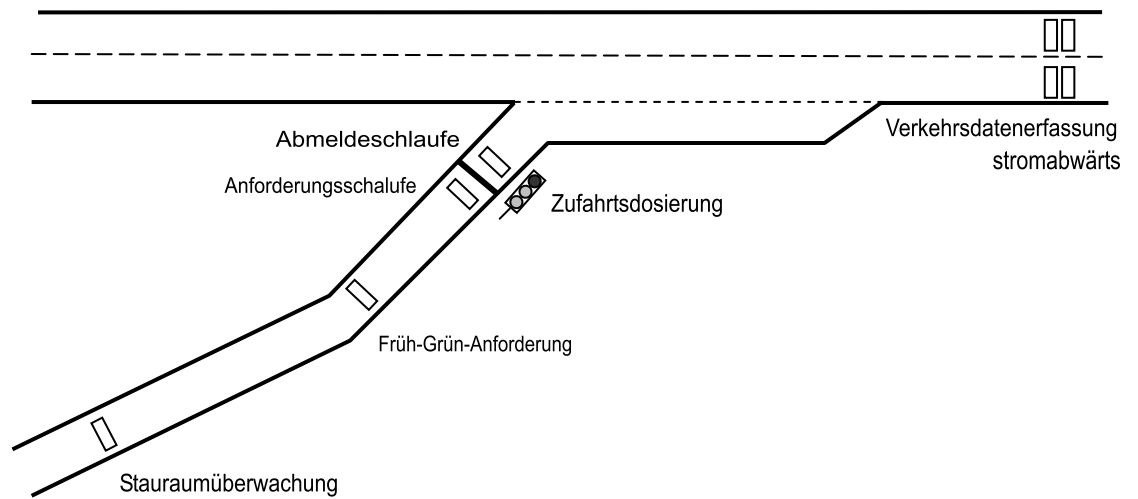


Abb. 9 Technische Ausgestaltung einer Rampenbewirtschaftung

3 Wirkungskontrolle A1 / A20 Kanton Zürich

3.1 Rampenbewirtschaftung A1 / A20 Limmattal – Nordring

3.1.1 Massnahmen A1 / A20 Limmattal – Nordring

Seit der Inbetriebnahme des auf drei Röhren erweiterten Baregg隧nels (A1/A3 bei Baden) 2004 und der damit einhergehenden Engpassbeseitigung von Baden/Dättwil nach Zürich wird das Verkehrsgeschehen auf der A1/A20 im Raum Gubrist gezielt beeinflusst. Die eingesetzten Sofortmassnahmen (SoMa) basieren auf der Kombination von Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf der Autobahn und Rampenbewirtschaftungen an den Autobahnanschlüssen. Die Rampenbewirtschaftungen befinden sich bei den Autobahnanschlüssen Dietikon, Weiningen, Urdorf-Nord, Affoltern und Seebach. Mit einer detaillierten Untersuchung wurde die Wirkung der Rampenbewirtschaftungen auf den Verkehrsablauf untersucht. Die Ergebnisse sind in [1] detailliert zusammengetragen.

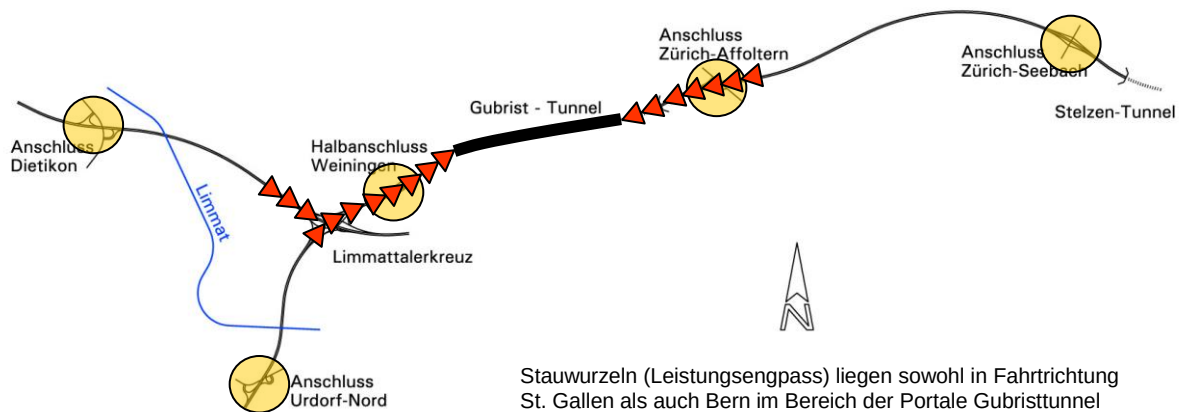


Abb. 10 Rampenbewirtschaftung A1 / A20 Limmattal und Nordring

3.1.2 Auswirkungen auf Verkehrsablauf Stammlinie

Die Rampenbewirtschaftung beim Anschluss Weiningen unmittelbar vor dem Südportal des Gubristtunnels erzielte den grössten Nutzen. Durch das Aufteilen der Fahrzeugpakete mittels Einzelfahrzeugdosierung wird der Verkehrsablauf auf der HLS durch die einzeln einfahrenden Fahrzeuge nur marginal beeinträchtigt und die vorhandene Kapazität des Engpasses Gubristtunnel kann besser ausgenutzt werden.

In der folgenden Abbildung sind die Auswirkungen der Rampenbewirtschaftung Weiningen auf die Verkehrsbelastung und den Geschwindigkeitsverlauf im Gubristtunnel dargestellt.

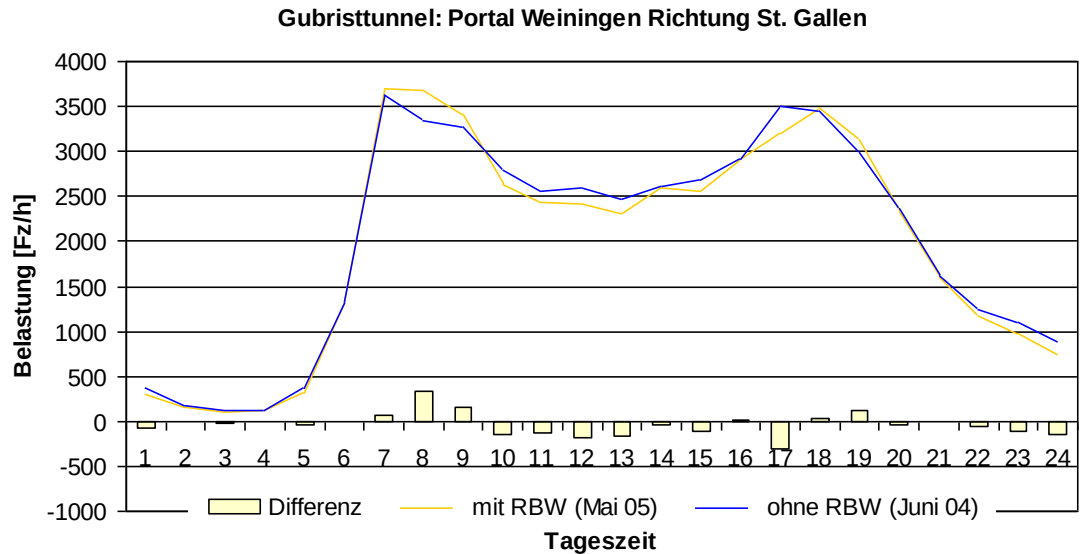


Abb. 11 Auswirkung der Rampenbewirtschaftung auf Belastung

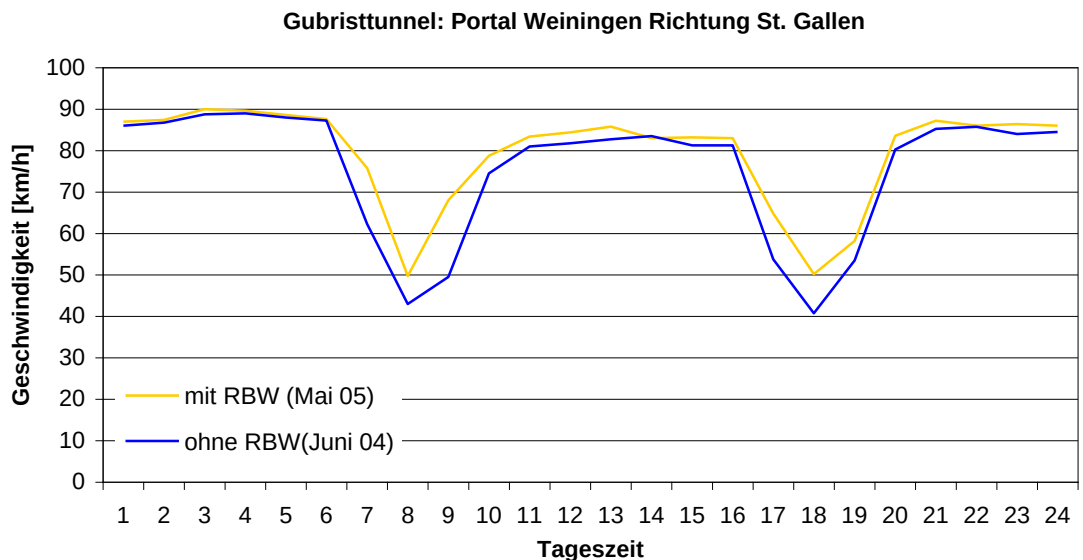


Abb. 12 Auswirkung der Rampenbewirtschaftung auf Geschwindigkeit

3.1.3 Wirkung der kaskadierten Steuerungsstrategie

Die Rampenbewirtschaftungen bei den Anschlüssen Urdorf-Nord und Dietikon, die zur Entlastung der Rampenbewirtschaftung Weiningen zugeschaltet werden, bewirken hingegen keine Verbesserung im Verkehrsablauf im Bereich Limmattalerkreuz. Trotz des langen Stauraums der beiden Rampen konnte ein Rückstau auf der Stammlinie nicht verhindert werden. Durch die Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung konnte während der Morgenspitze der mittlere Rückstau auf der Stammlinie aus Richtung Bern um 200 m reduziert werden. Der Rückstau reichte jedoch vor und nach der Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung nur bei aussergewöhnlichen Ereignissen (z.B. Unfall im Gubristunnel) in den Verflechtungsbereich des Limmattalerkreuzes zurück. Auf der Rampe Dietikon stauten sich während der Morgenspitze bis zu 70 Fahrzeuge (700 m).

Durch das Dosieren lässt sich der Rückstau am Limmattalerkreuz nicht verhindern, sondern nur verkürzen. Durch die Rampenbewirtschaftung sind zudem viele Fahrzeuge betroffen, die gar nicht in Richtung Engpass (Gubristtunnel) fahren wollen. Somit müssen die Rampenbewirtschaftungen Dietikon und Urdorf-Nord auf die Verflechtungsstrecke im Verzweigungsbauwerk ausgerichtet werden und unabhängig vom Betrieb der Rampe Weiningen ein sicheres Verflechten gewährleisten.

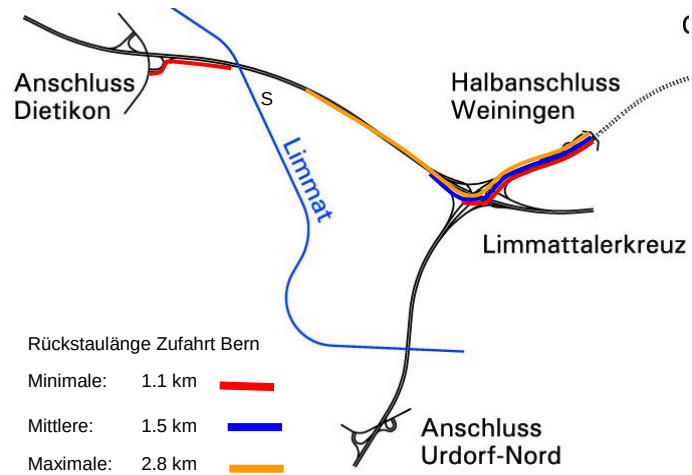


Abb. 13 Rückstau Limmattalerkreuz

3.2 Auswirkung auf Verkehrsablauf auf Rampen

Die Steuerung der Rampenbewirtschaftung erfolgt verkehrsabhängig. Dabei werden anhand aktueller Verkehrsdaten die Zuflussraten ermittelt und so durch das flexible Anpassen der Zuflussrate eine optimale Kapazitätsausnutzung im Bereich der Einfahrt erzielt. Mit einer entsprechenden Stauraumüberwachung sollten unerwünschte Auswirkungen auf das unterordnete Netz vermieden werden.

In Bezug auf die Dosierungssteuerung wurde die schockartige Strategie eingesetzt. Bei einer Staubildung auf der HLS wird der einfahrende Verkehr maximal dosiert. Die Steuerung schaltet auf die stärkste Dosierungsstufe. Anschliessend wird die Dosierung in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung auf der Stammlinie stufenweise abgepasst. Bei einer abnehmenden Belastung auf der Stammlinie wird die Einfahrtsmenge auf der Rampe erhöht.

Durch das starke Dosieren auf den Zufahrten wurden oftmals die Stauräume auf den Rampen überstaut und die Anlagen mussten nach Ansprechen der Stauschlaufen auf der Rampe abgeschaltet werden. In der folgenden Abbildung sind der Steuerungsablauf und die Rückstaulängen während der Morgenspitze beim Anschluss Urdorf-Nord dargestellt. Die Rampenbewirtschaftung musste während der Morgenspitze fünf Mal ausgeschaltet werden, da sich die Fahrzeuge bis zum vorgelagerten Knoten zurückstauten.

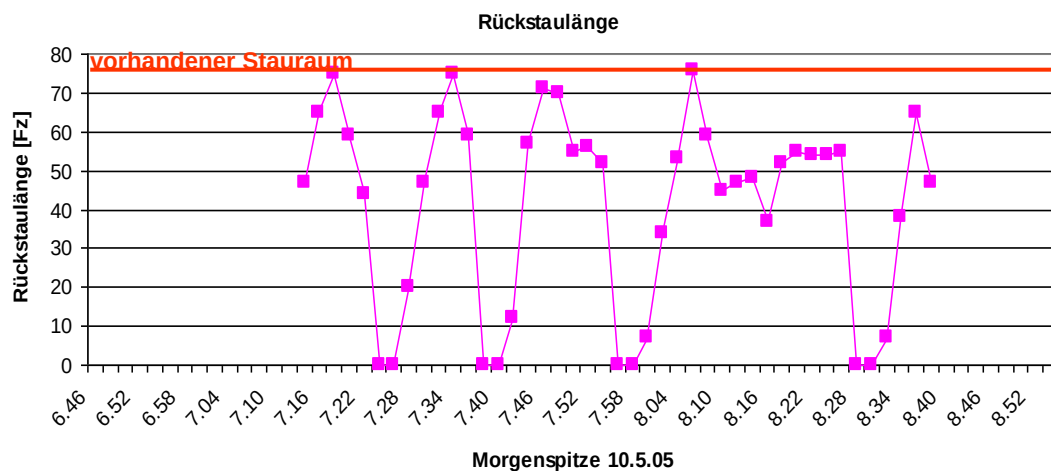


Abb. 14 Rückstau auf der Rampe während Bewirtschaftung (Anschluss Urdorf – Nord)

Die Auswertung zeigt, dass während der Hauptverkehrszeit ein Rückstau auf der Rampe bis zur Stauschleife nicht oder nur noch schwer abgebaut werden konnte. Oftmals wurde der angrenzende Knoten überstaut und die Anlage mit einer Notausschaltung ausser Betrieb genommen.

Mit der schockartigen Steuerung wird der vorhandene Stauraum auf der Rampe bereits kurz nach der Einschaltung vollständig ausgenützt, so dass anschliessend der einfahrende Verkehr nur noch mit der kürzesten Umlaufzeit dosiert werden kann um das Übertauen des untergeordneten Netzes zu vermeiden.

Zudem führte das Steuern mit der mit der maximalen Dosierung zu hohen Wartezeiten auf den Rampen. Bei einer Umlaufzeit von 20 sec liegen die Verlustzeiten bei einem Rückstau von 30 Fahrzeugen bei rund 10 min. Diese hohen Verlustzeiten werden von den Fahrzeuglenkenden nicht akzeptiert.

3.2.1 Erkenntnisse aus der Wirkungsanalyse

- Das Steuern der Einfahrtsrampe im Bereich des Leistungsengpasses führte zu einer signifikanten Verbesserung des Verkehrsablaufs auf der Stammlinie.
- Das kaskadierte Steuern der verschiedenen Einfahrten um den Rückstau auf der Stammlinie zu verhindern, funktionierte weder im Limmattal mit den Anschlüssen Weiningen, Urdorf-Nord und Dietikon noch auf dem Nordring mit den Anschlüssen Zürich-Affoltern und Zürich-Seebach.
- Das schockartige Steuern mit hohen Umlaufzeiten führte bei stark belasteten Einfahrten zum Überstauen des untergeordneten Knotens und zur Notabschaltung der Bewirtschaftung. Zudem war die Flexibilität der Umlaufzeit während der Spitzenverkehrszeit aufgrund des beschränkten Stauraumes nicht gegeben.
- Sehr hohe Wartezeiten (>10 min) auf den Rampen werden von den Fahrzeuglenkenden nicht akzeptiert und führen einerseits zu Ausweichverkehr auf das untergeordnete Netz und andererseits zu massiven Reklamationen bei den Verantwortlichen.

3.2.2 Optimierung Rampenbewirtschaftung A1 / A20 Limmattal / Nordring

Aufgrund der Erkenntnisse in [1] wurden das Steuerungskonzept angepasst und die Steuerung der Rampenbewirtschaftungen A1 / A20 Limmattal und Nordring optimiert. Dabei wurden folgende Anpassungen durchgeführt:

- Auflösung der kaskadierten Steuerung der Rampenbewirtschaftung und Ausrichten der Bewirtschaftung auf den lokalen Verkehrsablauf bei den Anschlüssen
- Aufheben der verkehrsabhängig gesteuerten Umlaufzeit und konstantes Steuern mit vier Sekunden Umlaufzeit
- Reduktion der Anzahl Querschnitte mit Einfluss auf die Steuerung auf einen Querschnitt unmittelbar nach der Einfahrt
- Erhöhen der Nachlaufzeit um bei Belastungen in Grenzsituationen ein Aus- und Einschalten zu verhindern

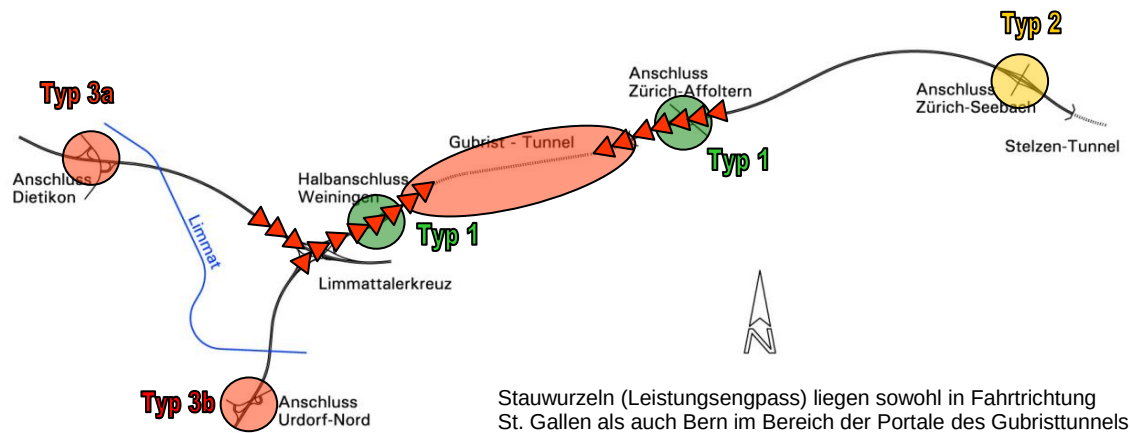
Die Auswirkungen dieser Anpassungen auf den Verkehrsablauf auf der Stammlinie wie auch auf der Rampe sind eine wichtige Grundlage für das Definieren der Anforderungen an das Regelungsverfahren.

3.3 Lage der Anschlüsse

3.3.1 Anschlusstypen

Die Lage des Anschlusses im Bezug zum Leistungsengpass der Stammlinie ist massgebend für die Wirkung der Rampenbewirtschaftung. Anhand der Situation im Untersuchungsgebiet A1 / A20 Limmattal – Nordring (Kanton Zürich) können drei Anschlusstypen

bestimmt werden. In der folgenden Abbildung ist die Situation mit der Lage der Rampenbewirtschaftungen dargestellt. Die Typisierung ist in der folgenden Tabelle aufgeführt.



Typ	Beschrieb	Zweck	Auswirkung	Wirkung
1	Anschluss unmittelbar vor oder im Bereich der Stauwurzel	Einzelfahrzeugsteuerung gewährleistet stabilen Verkehrsablauf	keine oder nur geringe Beeinflussung der Leistungsfähigkeit der Rampe	Nutzen gross Verlagerung klein
2	Keine Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel	Zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren des Rückstaus auf HLS	reduziert gezielt Leistungsfähigkeit auf der Rampe	Nutzen gering Verlagerung mittel
3a	Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel; Rückstau über Verflechtungsstrecke	Kann Blockieren der Verflechtungsstrecken verhindern oder verzögern	Bewirtschaftung auf Rückstau in Verzweigung ausgerichtet	Nutzen gross Verlagerung mittel
3b	Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel; KEIN Rückstau über Verflechtungsstrecke	Zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren des Rückstaus auf HLS	Bevorzugung der Fahrzeuge auf der Autobahn ohne Nutzen für Verkehrsablauf	Nutzen gering Verlagerung gross

Abb. 15 Typisierung der Anschlüsse

Das Bewirtschaften im Bereich der Stauwurzel oder zum Gewährleisten von Verflechtungen weist einen grossen Nutzen auf. Ein geringer bis kleiner Nutzen weisen Bewirtschaftungen auf, bei denen zwischen der Stauwurzel und dem bewirtschafteten Anschluss eine Verzweigung oder weitere Anschlüsse liegen. Während der Nutzen der Anlage gering ist, verursacht diese Bewirtschaftung in der Regel grosse Verkehrsverlagerungen auf das untergeordnete Netz.

Typ 2 Anschluss vor Engpass (Zürich - Seebach)

Die Steuerung der Rampenbewirtschaftung Zürich-Seebach ist abhängig von der Verkehrssituation vor dem Gubristtunnel und der Rampenbewirtschaftung Zürich-Affoltern. Bei Behinderungen im Verkehrsablauf vor dem Gubristtunnel werden die Fahrzeuge auf der Rampe Zürich-Seebach zurückgehalten um die auf den Leistungsengpass zufahrende Verkehrsmenge auf der Stammlinie zu reduzieren. Dabei werden einerseits Fahrzeuge zurückgehalten, welche die Autobahn vor dem Leistungsengpass beim Anschluss Zürich-Affoltern bereits wieder verlassen wollen und andererseits wird der vorhandene Stauraum innert kurzer Zeit überstaut und der Stauaufbau auf der Stammlinie nur leicht verzögert.

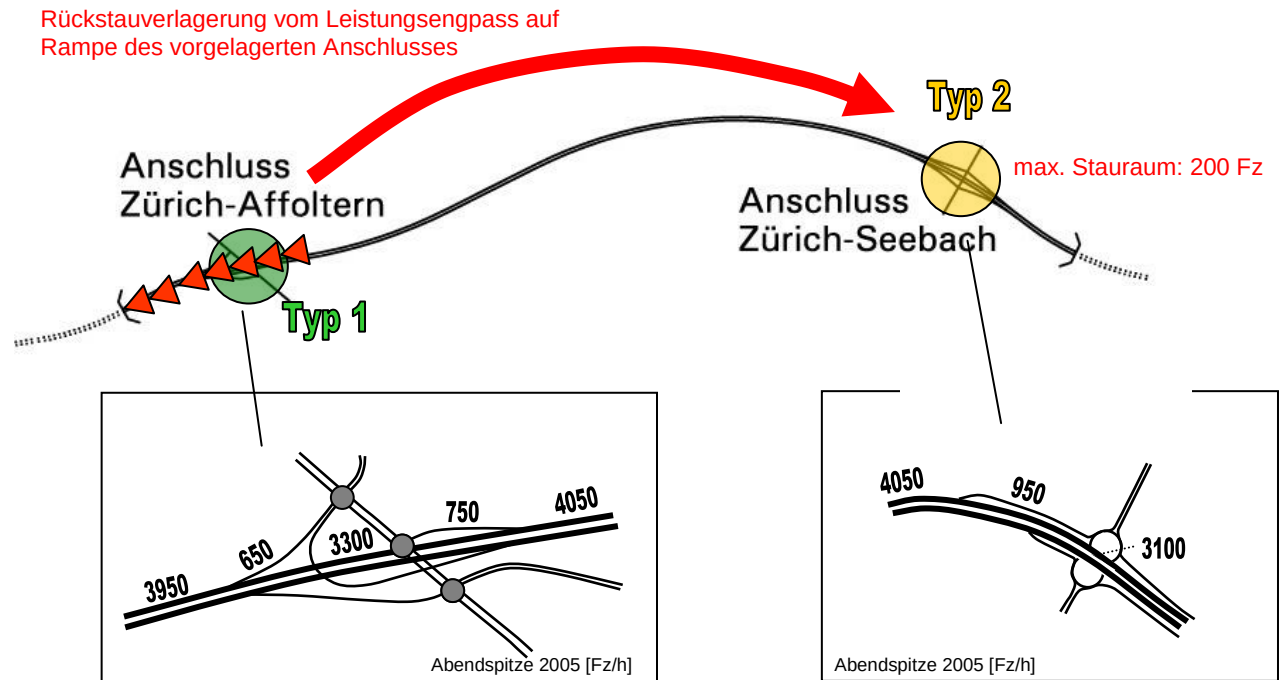


Abb. 16 Zufahrt Gubristtunnel: Verlagerungspotenzial zum Anschluss ZH-Seebach

Bei einem Stauraum auf der Rampe beim Anschluss Zürich-Seebach von rund 200 Fahrzeugen kann der Leistungsgepass während der Spitzenverkehrszeit um rund 200 Fahrzeuge entlastet werden. Bei einer vom Anschluss Zürich-Seebach weggehenden Verkehrsmenge auf der Stammlinie von rund 4'000 Fz/h entspricht dies einer Reduktion der Verkehrsbelastung Richtung Leistungsgepass um rund 5%.

- Eine Stauverlagerung von der Stammlinie auf die Rampe funktioniert nur sehr kurzfristig.
- Der auf die Rampe verlagerbare Verkehr liegt bei einigen wenigen Prozentpunkten im Vergleich des auf den Leistungsgepass zufahrenden Verkehrs.
- Sobald der Stauraum auf der Rampe ausgeschöpft ist, geht der Verlagerungseffekt verloren. Insbesondere bei der schockartigen Dosierung wird der Stauraum auf der Rampe oftmals vor der eigentlichen Spitzenverkehrszeit belegt.
- Bei einem Rückstau von 200 Fahrzeugen auf der Rampe liegen die Verlustzeiten für die Fahrzeuglenkenden bei knapp 15 min.

Typ 3 Anschluss vor Verzweigung (Anschluss Dietikon)

In Abb. 17 sind die Verkehrsströme vom Anschluss Dietikon Richtung Zürich während der Morgenspitze aufgeführt. Von den einfahrenden Fahrzeugen beim Anschluss Dietikon fahren rund 40% durch den Gubristtunnel in Richtung St. Gallen. Die restlichen Fahrzeuglenkenden haben ihr Ziel entweder in Richtung Zürich (35%) oder in Richtung Urdorf (25%).

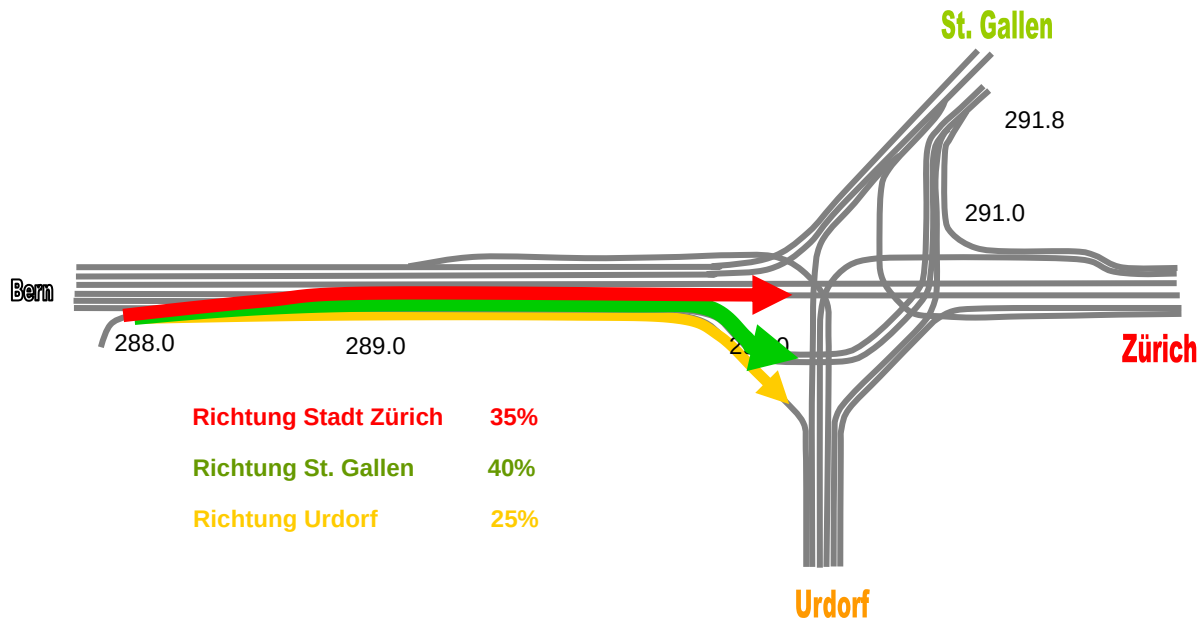


Abb. 17 Verkehrsströme Anschluss Dietikon, Morgenspitze 2005

Durch das Bewirtschaften der Rampe bei diesem Anschluss aufgrund eines Rückstaus vor dem Gubristunnel werden auch Fahrzeuge, die nicht durch den Leistungsengpass fahren wollen, zurückgehalten. Zudem führt das Zurückhalten dieser Fahrzeuge zu einem langen Rückstau auf der Rampe und einer geringen Verkürzung des Staus auf der Stammlinie. Das Abbauen des Rückstaus beim Limmattalerkreuz um zwei Fahrzeuge (ein Fahrzeug pro Fahrstreifen) bedingt ein Zurückhalten von fünf Fahrzeugen beim Anschluss Dietikon.

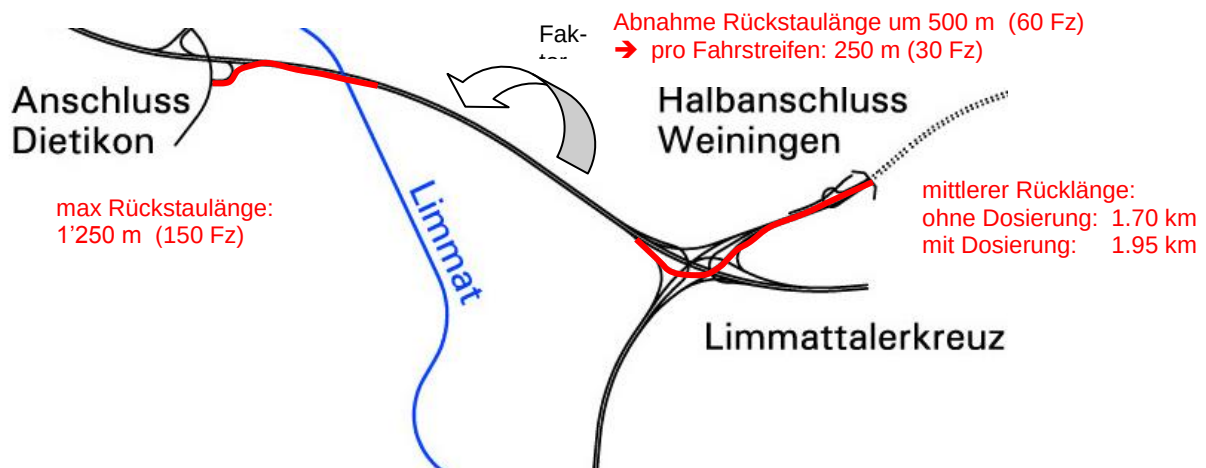


Abb. 18 Reduktion Rückstaulänge durch Rampenbewirtschaftung Dietikon

3.3.2 Lokales Bewirtschaften

Mit der Optimierung der Rampenbewirtschaftungen A1 / A20 Limmattal – Nordring wurde auch der Lage der einzelnen Anschlüsse Rechnung getragen und das Steuerungskonzept entsprechend angepasst. So wurde die Bewirtschaftung der Rampen Dietikon und Seebach auf den Verkehrsablauf auf der Stammlinie im Bereich der Einfahrt ausgerichtet und die Kaskadierung vollständig aufgehoben.

Die Rampe Urdorf-Nord wurde ausgeschaltet. In der folgenden Abbildung sind die Rampenbewirtschaftungen nach dem Optimieren 2008 aufgeführt.

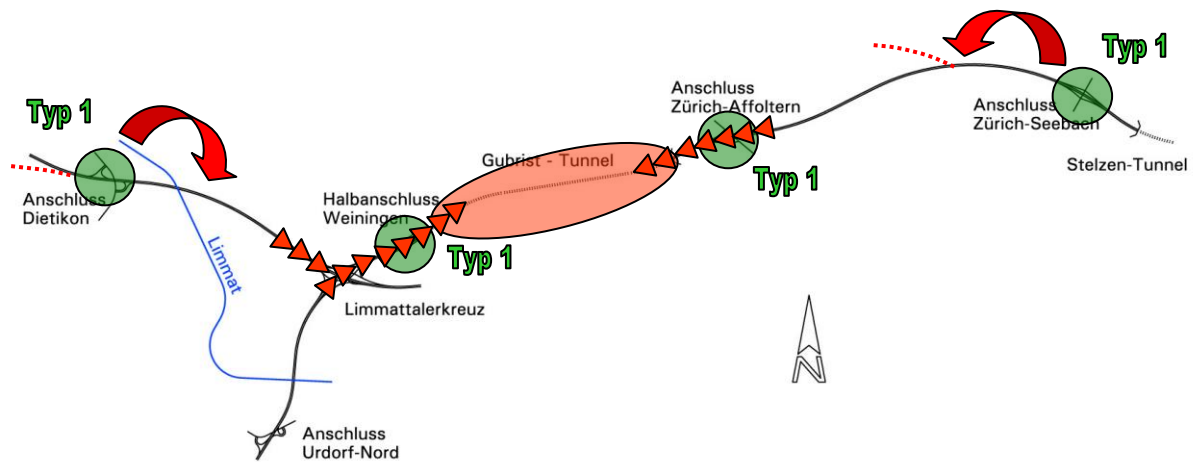


Abb. 19 Rampenbewirtschaftungen nach Optimierung 2008

Als Folge der unterschiedlichen Lage der Anschlüsse ergeben sich auch bei der Analyse des Verkehrsablaufs sehr unterschiedliche Ergebnisse. Während beim Anschluss Affoltern und Weiningen der Verkehrsablauf oftmals zusammenbricht und somit das Geschwindigkeitsniveau stark absinkt, sind beim stockenden Kolonnenverkehr die Auswirkungen auf die massgebenden Kennzahlen viel geringer.

In der folgenden Darstellungen ist der Geschwindigkeitseinbruch auf der Stammlinie auf dem Überholstreifen beim Anschluss Weiningen und beim Anschluss Dietikon dargestellt. Dabei zeigt sich, dass der stockende Kolonnenverkehr auf der Stammlinie beim Anschluss Dietikon viel schwerer zu detektieren ist und somit die Parameter entsprechend feiner zu justieren sind.

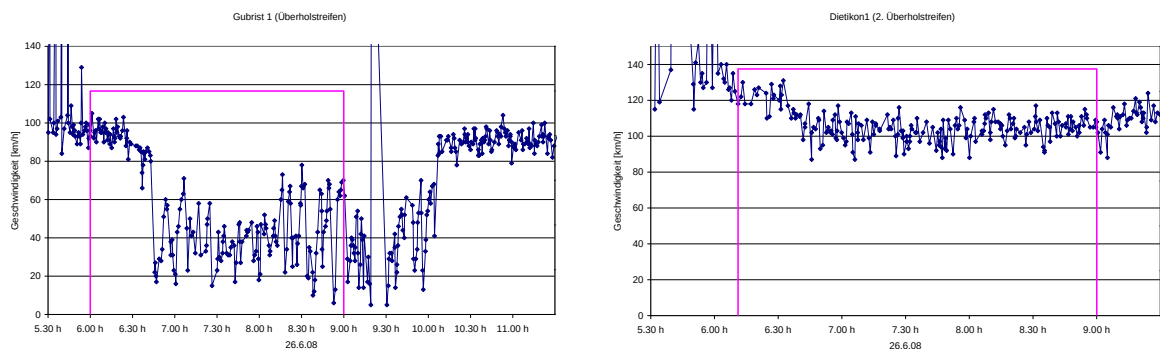


Abb. 20 Geschwindigkeitseinbruch auf Stammlinie

3.3.3 Anschluss vor Verzweigung (Typ 3)

Der Leistungsengpass auf dem Hochleistungsstrassennetz im Limmattal ist der Gubristtunnel. Während der Hauptverkehrszeiten stauen sich die Fahrzeuge regelmässig vor dem Portal. Bereits kleine Behinderungen (z.B. Pannenfahrzeug) im Verkehrsablauf führen zu einem starken Anwachsen des Rückstaus und einem entsprechenden Geschwindigkeitseinbruch auf der Stammlinie. In Abb. 21 sind im Bereich des Limmattalerkreuzes die zum Detektieren der Verkehrsbeziehung Bern in Richtung St. Gallen vorhandenen Er-

fassungsstandorten aufgeführt. Dabei kann der Verkehrsablauf beim Portal Gubritunnel [1], im Limmattalerkreuz [2] sowie beim Anschluss Dietikon [3] erfasst werden.

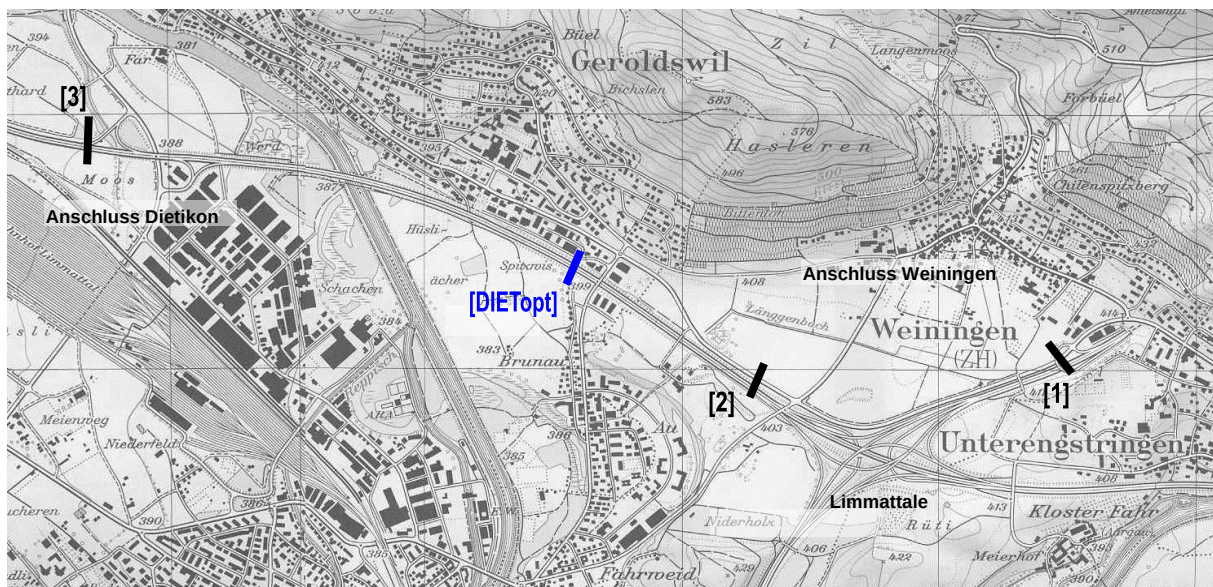
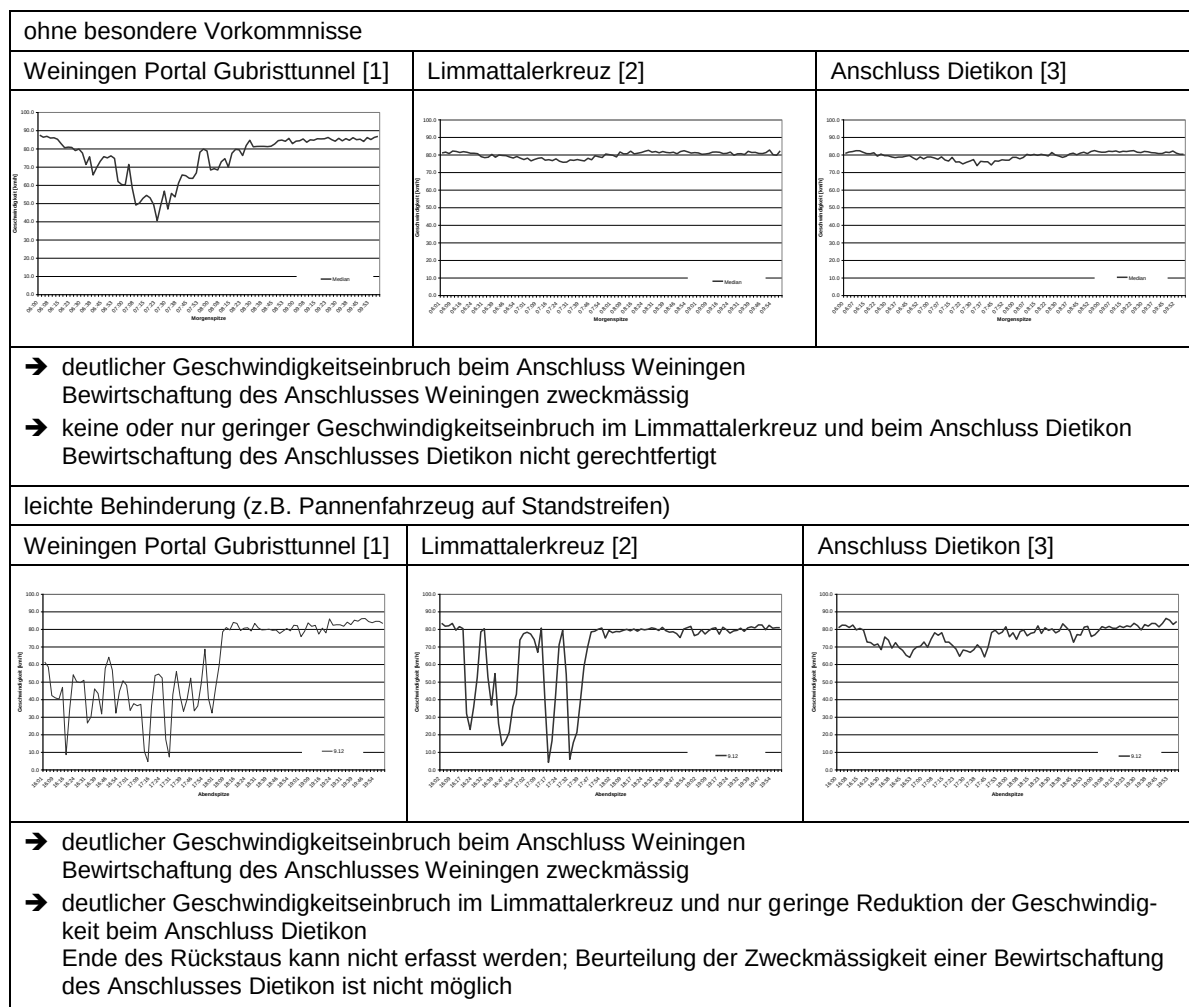


Abb. 21 Übersicht Anschlüsse und Messstellen Limmattalerkreuz (Richtung BE – SG)

In der Abbildung ist der Geschwindigkeitsverlauf während der Hauptverkehrszeit in Abhängigkeit der Vorkommnisse auf der Stammlinie dargestellt.



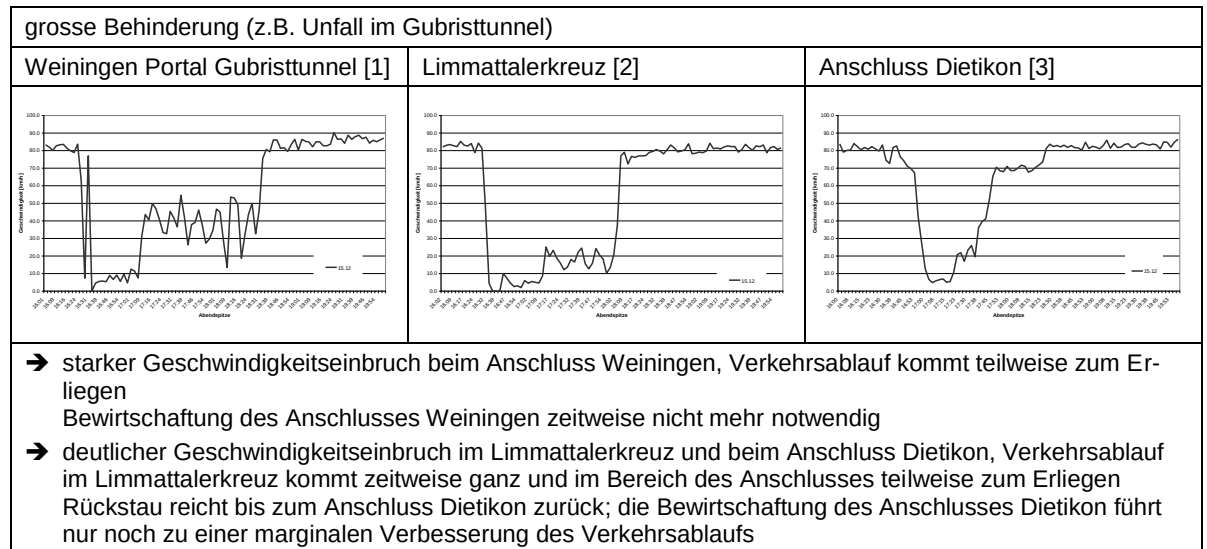


Abb. 22 Geschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit der Vorkommnisse auf der Stammlinie

Die Auswertung zeigt, dass das Steuern direkt beim Leistungsengpass zweckmässig ist und der Geschwindigkeitseinbruch oftmals auch einfach zu detektieren ist. Der Nutzen der Bewirtschaftung des Anschlusses Weiningen konnte auch gut ausgewiesen werden.

Mit der Rampenbewirtschaftung Dietikon sollte das gefahrlose Verflechten vor der Verzweigung gewährleistet und die Verkehrssicherheit erhöht werden. Aufgrund der Auswertung der verschiedenen Ereignisse zeigte sich, dass die vorhandenen Standorte der Verkehrsdatenerfassung im Limmattal zum Steuern der Rampenbewirtschaftung Dietikon ungünstig liegen. Die Messstelle Limmattal [2] spricht für das Steuern der Bewirtschaftung Dietikon deutlich zu früh an, da der Verflechtungsbereich der Verzweigung bei weitem nicht tangiert wird und mit der Messstelle Anschluss Dietikon [3] erfolgt das Steuern deutlich zu spät.

Für das optimale Steuern der Rampenbewirtschaftung Dietikon wäre eine Messstelle im Verflechtungsbereich vor der Verzweigung notwendig (vgl. Abb. 21).

3.4 Erkenntnisse aus Bestandesaufnahme

3.4.1 Steuerung generell

Zum Steuern der Rampen müssen für einen hohen Nutzen der Steuerung und für ein Verbessern des Verkehrsablaufes folgende Grundsätze berücksichtigt werden:

- homogenes Steuern mit kontinuierlicher Einfahrtsmenge pro Zeitintervall
- vermeiden von Zwangsausschaltungen (Überstauen untergeordneter Knoten)

3.4.2 Einsatzmöglichkeiten

Bei den Rampenbewirtschaftungen kann zwischen folgenden Einsatzmöglichkeiten unterschieden werden:

- vermeiden von einfahrenden Fahrzeugpuls und mit Einzelfahrzeugsteuerung stabilen und staufreien Verkehrsablaufs gewährleisten (➔ Verkehrssicherheit)
- zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren von Rückstau auf der Autobahn (Verlagern des Staus von der Autobahn auf die Rampe)

Im ersten Fall (lokale Steuerungsstrategie) wird die Leistungsfähigkeit der Zufahrt nicht oder nur gering beeinflusst. Die Verlustzeiten für den Fahrzeuglenkenden sind kalkulierbar. Der Zweck der Rampenbewirtschaftung wird von den Fahrzeuglenkenden mehrheitlich verstanden und die Rampenbewirtschaftung wird akzeptiert (Verkehrsverlagerungen sind kaum zu erwarten).

Im zweiten Fall (kaskadierte Steuerungsstrategie) führt das Reduzieren der Leistungsfähigkeit zu hohen Zeitverlusten und somit zu einer starken Abnahme der Akzeptanz bei den Fahrzeuglenkenden (grosse Verlagerungen beim Anschlussknoten). Da sich in der Regel auf der Autobahn auch mit der Rampenbewirtschaftung die Fahrzeuge stauen, werden Nutzen und Wirkung von den einfahrenden Fahrzeuglenkenden in Frage gestellt. Einerseits ist die Wartezeit auf der Rampe nicht kalkulierbar und andererseits werden die Fahrzeuge auf der Autobahn klar bevorzugt (Teil des Rückstaus wird auf Rampe verlagert, der Rückstau auf der Autobahn kann jedoch kaum verhindert werden). Aufgrund der Lage des Anschlusses im Netz werden Nutzen und Auswirkungen auf Verkehrsverlagerung deutlich beeinflusst.

4 Anforderungen an Rampenbewirtschaftungen

4.1 Anforderung an Steuerungsstrategie

4.1.1 Steuerungsansatz

Die Ergebnisse der Untersuchungen verschiedener Pilotprojekte in der Schweiz zeigten, dass die Stauverlagerung von der Stammlinie auf die Rampe nicht oder nur während einer kurzen Zeit funktioniert. Das angestrebte Ziel einer Reduktion des Rückstaus auf der Stammlinie konnte auch unter Einbezug der vorgelagerten Anschlüsse nicht erreicht werden. Dadurch wurde der Sinn und Zweck der Rampenbewirtschaftung in Frage gestellt und die Akzeptanz dieses Steuerungsansatzes, der die Fahrzeuglenkenden auf der Stammlinie gegenüber den einfahrenden Fahrzeuglenkenden bevorzugt, ging verloren.

Dagegen konnte bei der Rampenbewirtschaftung Weiningen unmittelbar bei der Stauwurzel, die die Fahrzeuge einzeln aber kontinuierlich auf die Stammlinie einfahren liess, ein grosser Nutzen ausgewiesen werden.

Aufgrund dieser Erkenntnisse sollen Rampenbewirtschaftungen nur zur Pulkauflösung und nicht zur Stauverlagerung eingesetzt werden. Das Kaskadieren der vorgelagerten Rampen ist mit dem Ansatz „Pulkauflösung“ nicht notwendig.

4.1.2 Leistungsfähigkeit

Aufgrund der minimalen Umlaufzeit einer einstreifigen Rampe von vier Sekunden liegt die maximale Leistungsfähigkeit bei 900 Fz/h. Während bei vorgelagerten Knoten mit LSA die maximal zufahrende Verkehrsmenge vorgegeben ist und durch den Phasenablauf bestimmt wird, führt die ungleiche Verteilung der zufahrenden Verkehrsmenge bei ungesteuerten Knoten oftmals zu starken Schwankungen der Verkehrsbelastung auf der Rampe. Bei kurzfristigen Belastungen von über 900 Fz/h steigt die Rückstaulänge trotz der kurzen Umlaufzeit von vier Sekunden stark an und führt zu hohen Verlustzeiten der Fahrzeuglenkenden auf der Rampe. Die Leistungsfähigkeit von Rampenbewirtschaftungen bei ungesteuerten vorgelagerten Knoten liegt somit bei rund 600 bis 700 Fz/h.

Bei mit LSA gesteuerten vorgelagerten Knoten muss gewährleistet werden, dass die Fahrzeuge der vorangehenden Grünphase abgebaut werden können, bis der nächste Fahrzeugpulk auf die Rampe einfährt. Die Leistungsfähigkeit der Rampenbewirtschaftung liegt somit im Idealfall bei 900 Fz/h.

4.1.3 Umlaufzeit

Bei den Pilotprojekten auf der Autobahn A1 im Limmattal und auf dem Nordring variierten die Umlaufzeiten zwischen vier und zwanzig Sekunden mit einer Leistungsfähigkeit der Einfahrt zwischen 900 Fz/h und 180 Fz/h. Die hohen Umlaufzeiten waren Voraussetzung für das Zurückhalten der Fahrzeuge und das Verlagern des Rückstaus auf die Rampe.

Die Umlaufzeit der Rampenbewirtschaftung ist mit dem Steuerungsansatz „Pulkauflösung“ aus Sicht der Stammlinie so hoch als möglich jedoch aus Sicht der Verkehrsbelastung auf der Rampenbewirtschaftung so kurz wie notwendig festzulegen. Einerseits sollten immer einige Fahrzeuge vor der Rampen-LSA warten um Rotlichtmissachtungen der zufahrenden Fahrzeuglenkenden zu vermeiden und andererseits darf der Rückstau aufgrund der Verlustzeiten nicht über den vorhandenen Stauraumes anwachsen.

Die Umlaufzeit muss folgende Aspekte gewährleisten:

- zerstückeln der Fahrzeugpakete und kontinuierliches Einfahren von Einzelfahrzeugen
- kurze Wartezeiten für einfahrende Fahrzeuglenkende
- gleichmässige Zufahrt auf Stammlinie während Hauptverkehrszeit

4.2 Anforderung an Steuerungsmodell

4.2.1 Reaktion auf Änderungen im Verkehrsfluss auf Stammlinie

Die Rampenbewirtschaftung muss bei einer Verdichtung des Verkehrsflusses im Bereich des Anschlusses einschalten um die zufahrenden Fahrzeugpuls aufzulösen. Dabei dürfen einerseits kurze Einzelereignisse nicht zum Einschalten der Rampenbewirtschaftung führen und andererseits darf die Anlage nicht erst bei Stau auf der Stammlinie reagieren.

Das Steuerungsmodell muss somit mit verschiedenen Kenngrößen den Verkehrsfluss auf der Stammlinie überwachen um eine Verdichtung des Verkehrsflusses rechtzeitig erkennen zu können. Zudem muss sie eine gewisse Trägheit aufweisen um nicht auf kurzfristige Ereignisse zu reagieren.

Nach dem Einschalten der Rampenbewirtschaftung muss eine minimale Einschaltdauer gewährleistet werden, dass die Anlage nicht bei einer kurzzeitigen Erholung ausschaltet. Ein Flattern der Steuerung ist zu vermeiden und mit einer gewissen Trägheit der Anlage während des Betriebs soll das kontinuierliche Steuern des einfahrenden Verkehrs gewährleistet werden.

In Abb. 23 ist als Beispiel der Verkehrsablauf beim Anschluss Weiningen (Morgenspitze 6.12.05) dargestellt. Die angestrebte Betriebsdauer beginnt beim Einbruch des Geschwindigkeitsniveaus unter 60 km/h (6.30 Uhr) und dauert bis zur Normalisierung des Verkehrsablaufs kurz nach 8.00 Uhr. Dabei sollen kurze Phasen der Erholung der Geschwindigkeiten ohne Einfluss auf die Steuerung sein.

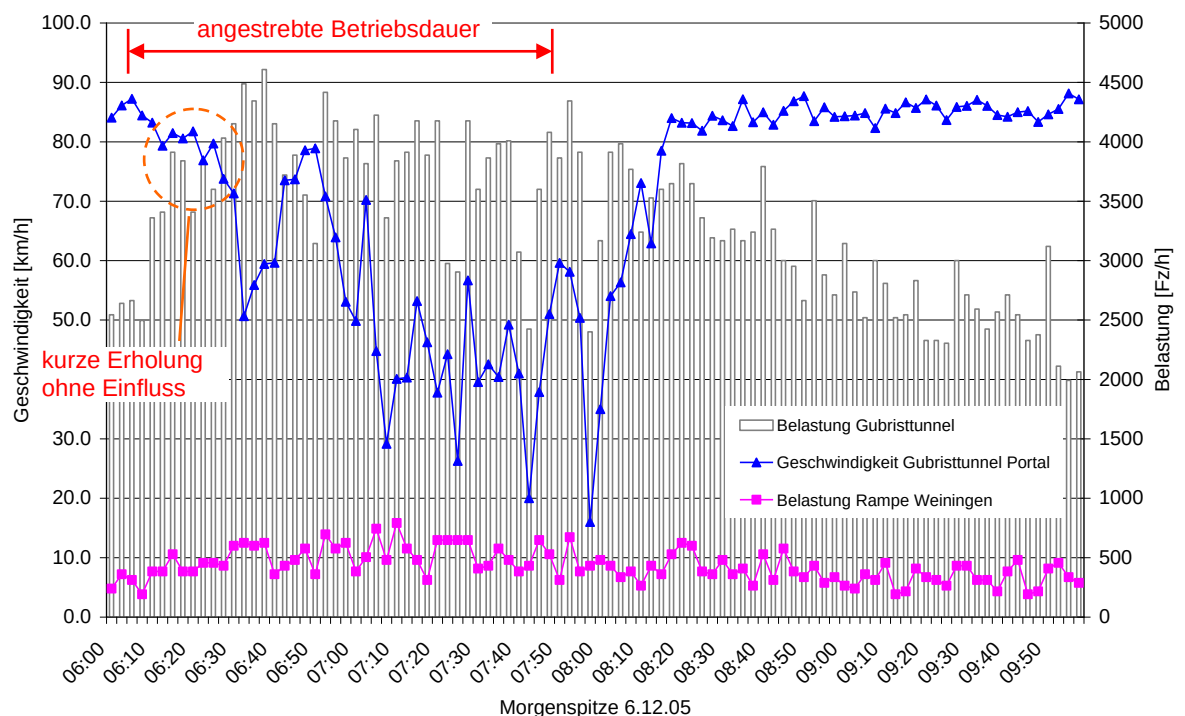


Abb. 23 Angestrebte Betriebsdauer der Rampenbewirtschaftung

4.2.2 Reaktion auf Überstauen der Rampe

Die Umlaufzeit der Rampenbewirtschaftung muss so festgelegt werden, dass sich der Rückstau auf der Rampe nicht zum vorgelagerten Knoten zurückbilden kann. Um aber in Ausnahmesituationen das Überstauen des vorgelagerten Knotens verhindern zu können, muss der Stauraum überwacht und gegebenenfalls die Leistungsfähigkeit der Rampebewirtschaftung erhöht oder die Anlage im Notfall ausgeschaltet werden.

4.3 Anforderung an Ausrüstung

4.3.1 Länge des Stauraumes

Die Länge des Stauraumes ist abhängig von der einfahrenden Verkehrsmenge, ihrer Verteilung sowie der Leistungsfähigkeit (Umlaufzeit) der Rampenbewirtschaftung. Der Stauraum muss genügend lang ausgebildet werden damit Schwankungen bei den zufahrenden Fahrzeugen aufgenommen werden können ohne dass der nachgeordnete Knoten überstaut wird.

Die Umlaufzeit der Rampenbewirtschaftung beeinflusst die Staulänge auf der Rampe stark. In der folgenden Tabelle ist die Leistungsfähigkeit der Rampenbewirtschaftung in Abhängigkeit der Umlaufzeit dargestellt.

Tab. 2 Leistungsfähigkeit auf der Rampe in Abhängigkeit der Umlaufzeit

Umlaufzeit	4 sec	6 sec	8 sec	10 sec
Leistungsfähigkeit	900 Fz/h	600 Fz/h	450 Fz/h	360 Fz/h

In der folgenden Abbildung sind die Auswirkungen der Umlaufzeit auf die Rückstaulänge am Beispiel der Einfahrt Weiningen (6. Dezember 2005, Abendspitze) dargestellt. Während sich bei einer Umlaufzeit von 6 sec annähernd kein Rückstau aufbaut, stauen sich bei einer Umlaufzeit von 8 sec bis zu 50 Fahrzeuge auf der Rampe.

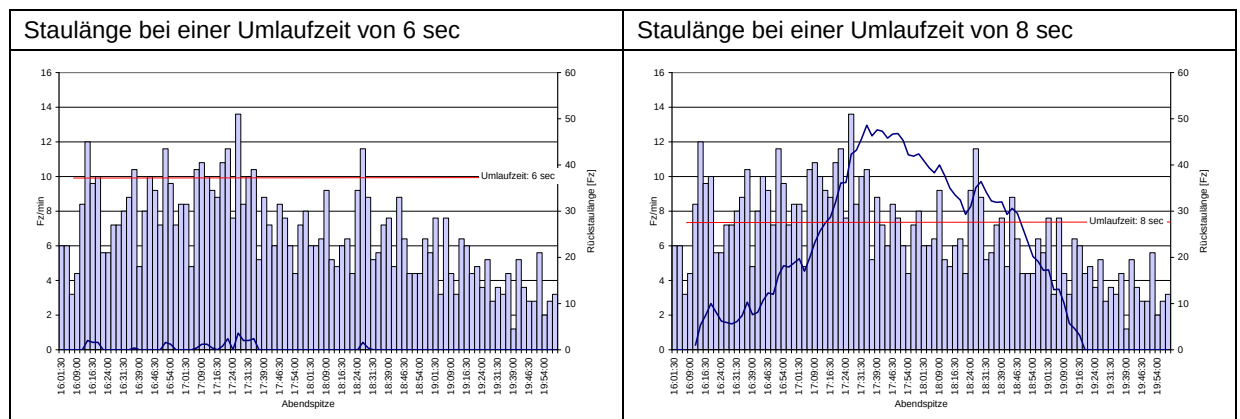


Abb. 24 Rückstaulänge in Abhängigkeit der Umlaufzeit

Der Stauraum wird nicht auf das Verlagern des Rückstaus von der Stammlinie auf die Rampe ausgerichtet, sondern muss nur kurzzeitige Schwankungen der zufahrenden Verkehrsmenge abdecken können. Die Berechnung der Länge des Stauraumes erfolgt in Abhängigkeit der Belastung und der Verteilung der einfahrenden Verkehrsmenge während der Spitzenstunde.

4.3.2 Lage des Stauraumes

Der Stauraum liegt in der Regel auf der Rampe und das Lichtsignal der Rampenbewirtschaftung muss so angeordnet werden, dass einerseits in der Zufahrt ausreichender Stauraum für wartende Fahrzeuge vorhanden ist und andererseits eine genügend lange Beschleunigungsstrecke für die anfahrenen Fahrzeuge gewährleistet werden kann.

Aufgrund der engen Platzverhältnisse bei den Autobahnanschlüssen wurde bei den Rampenbewirtschaftungen Weiningen und ZH-Affoltern der Stauraum zweistreifig ausgebildet und bei den Rampenbewirtschaftungen Dietikon, Urdorf-Nord und ZH-Seebach der Stauraum auf dem Standstreifen eingerichtet.

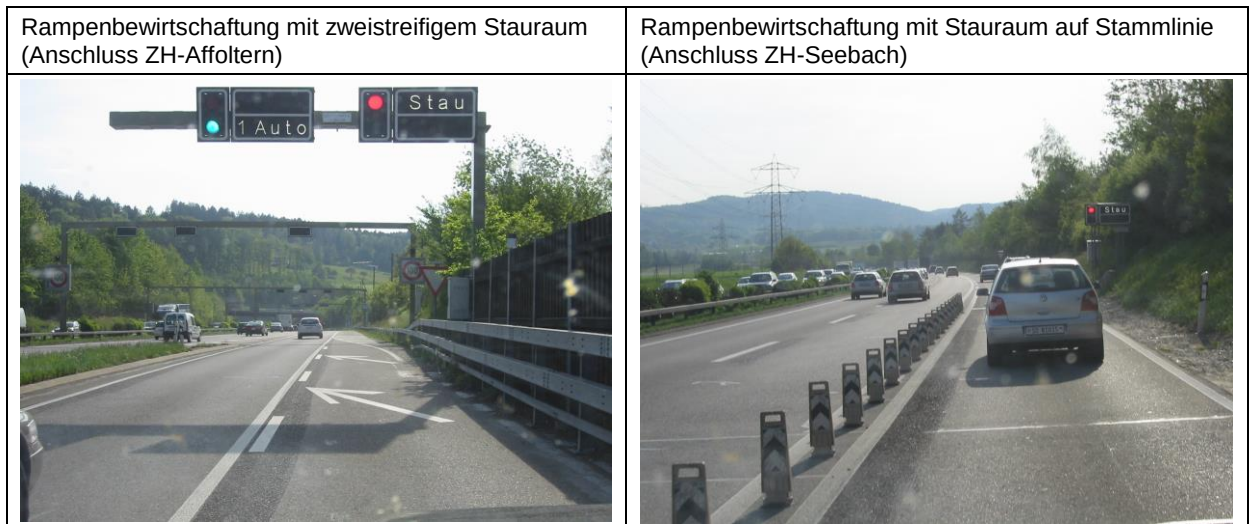


Abb. 25 Anordnung der Stauräume bei den Anschlüssen ZH-Affoltern und ZH-Seebach

4.3.3 Messquerschnitt

Die Lage des Messquerschnittes ist massgebend für einen hohen Nutzen der Rampenbewirtschaftung. Dabei beeinflusst die Art und Lage des Messquerschnittes die Wirkung der Rampenbewirtschaftung stark. Grundsätzlich muss bei stark belasteten Anschlüssen der Verkehrsablauf auf der Stammlinie im Bereich des Anschlusses erfasst werden. Bei einer lokalen Verdichtung des Verkehrs im Anschlussbereich schaltet die Rampenbewirtschaftung ein und löst die einfahrenden Fahrzeugpuls auf.

Bei speziellen Anwendungen (vor Engpässen oder Verzweigungen) muss der Messquerschnitt auf die örtlichen Gegebenheiten ausgerichtet werden.

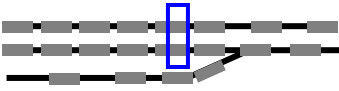
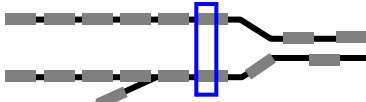
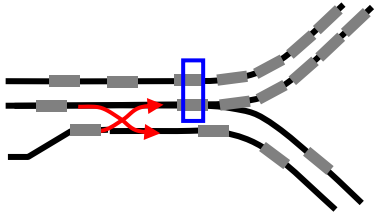
Stark belasteter Anschluss	Anschluss vor Engpass	Anschluss vor Verzweigung
		
Messquerschnitt unmittelbar vor Anschluss	Messquerschnitt zwischen Engpass und Anschluss	Messquerschnitt im Bereich der Verzweigungsstrecke auf Fahrstreifen mit Rückstau

Abb. 26 Lage Messquerschnittes in Abhängigkeit der Lage des Anschlusses im Netz

Bei den Messquerschnitten werden alle Fahrstreifen separat überwacht und eine Veränderung des Verkehrszustandes auf nur einem Fahrstreifen löst eine Anforderung an die Steuerung aus.

Auf mehrere Messquerschnitte zum Erfassen des Verkehrszustandes sollte verzichtet werden, da einerseits kein zusätzlicher Nutzen generiert werden kann und andererseits das Kalibrieren des Systems erschwert wird.

5 Kenngrößen und Störfallerkennung

5.1 Kenngrößen des Verkehrsablaufes

Die Bewegung der Fahrzeuge lassen sich grundsätzlich in ihrer räumlichen Veränderung zu einem bestimmten Zeitpunkt (momentane Erfassung), ihrer zeitlichen Veränderung an einem bestimmten Querschnitt (lokale Erfassung) oder aus deren Kombination (räumlich-zeitliche Erfassung) beschreiben. Dementsprechend dienen zur Beschreibung des Verkehrsablaufes die folgenden Kenngrößen:

- Zeit- und Weggrößen: Zeit (t)
Zeitabstand (Δt)
Weg (s)
Wegabstand (Δs)
- Geschwindigkeitsgrößen: Geschwindigkeit Einzelfahrzeug
gemittelte Geschwindigkeiten v
- Verkehrsgrößen: Verkehrsstärke q (= Anzahl Fz / Zeit)
Verkehrsdichte k (= Anzahl Fz / Strecke)

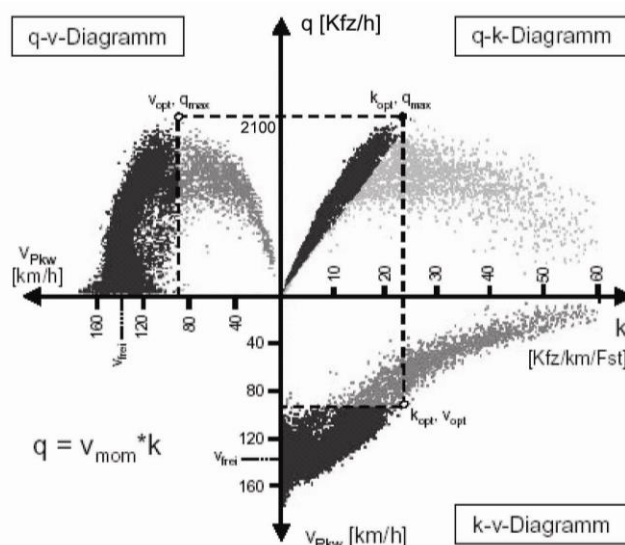
Der Zusammenhang zwischen den Kenngrößen Verkehrsdichte k , Verkehrsstärke q und Geschwindigkeit v kann dargestellt werden über die Gleichung

$$q(x, t) = k(x, t) \times v_m$$

Anstelle der Verkehrsdichte wird bei Induktionsschleifen der Belegungsgrad (b) erfasst. Aus diesem kann die Verkehrsdichte abgeleitet werden.

5.2 Fundamentaldiagramm

Der Zusammenhang zwischen den Kenngrößen Verkehrsdichte k , Verkehrsstärke q und Geschwindigkeit v kann im Fundamentaldiagramm dargestellt werden. Dieses besteht aus einer dreidimensionalen Punktwolke, die mittels Projektion in drei zweidimensionale Diagramme abgebildet werden kann. In Abb. 27 ist die Abhängigkeit der Kenngrößen im Fundamentaldiagramm aufgeführt.



Das Fundamentaldiagramm besteht aus den drei Teildialogrammen
q-v – Diagramm,
q-k – Diagramm und
k-v – Diagramm

→ für das Beurteilen des Verkehrsablaufs wird vorwiegend das q-k Diagramm sowie die mittlere Geschwindigkeit verwendet.

Abb. 27 Abhängigkeit der Kennwerte im Fundamentaldiagramm
(aus FGSV Merkblatt Fundamentaldiagramm [2004])

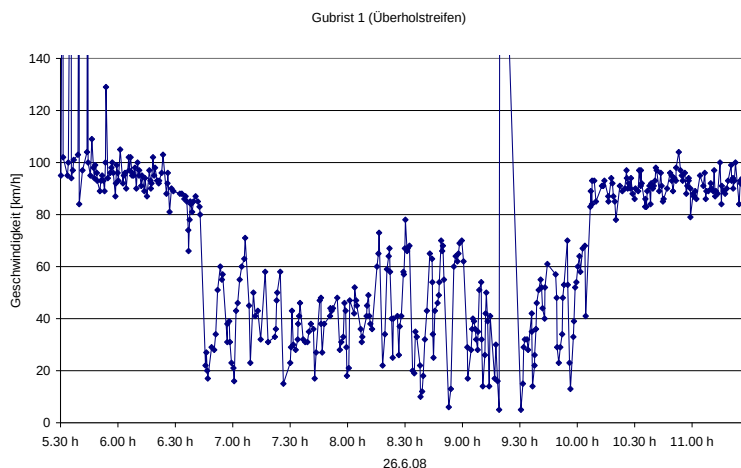
Mit dem Fundamentaldiagramm kann der Verkehrsfluss beim Messquerschnitt zu einem bestimmten Zeitpunkt dargestellt werden. Die Auswertung erfolgt für einzelne Fahrstreifen oder die ganze Fahrbahn. Für Beeinflussungs- und Steuerungsanlagen, bei denen eine rasche Störungserkennung und Reaktionsschnelligkeit (Steuerbefehle und Anzeigen) angezeigt ist, müssen die Daten in Intervalllängen zwischen 0.5 und 5.0 min erfasst und ausgewertet werden.

Bei Messungen mit Induktionsschlaufen wird neben der Geschwindigkeit und der Menge nicht die Dichte, sondern der Belegungsgrad b der Schlaufe gemessen. Somit werden im Fundamentaldiagramm oftmals anstelle des q - k ein q - b – Diagramm dargestellt.

5.3 Störfallerkennung auf der Stammlinie

5.3.1 Kenngrößen

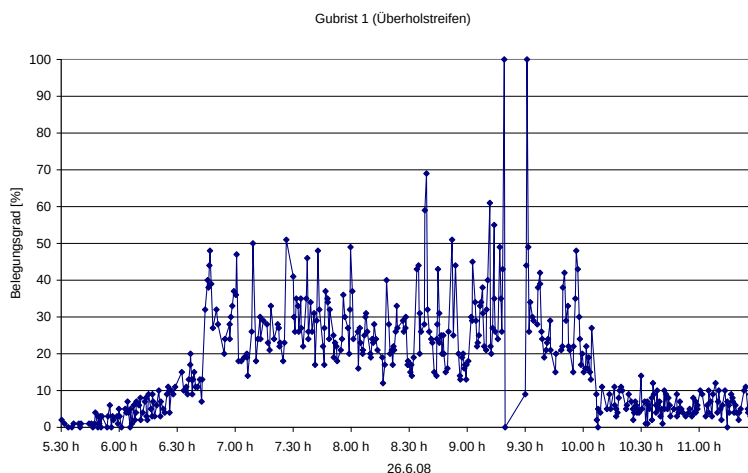
Für die Datenerfassung ist der Einsatz von Induktionsschlaufen in der Schweiz stark verbreitet. Diese ermöglichen das Erfassen der drei Kenngrößen v , q , und b je Zeitintervall, Messquerschnitt j und Fahrstreifen i . In Abb. 28 ist der zeitliche Verlauf der drei Kenngrößen bei einem Messquerschnitt im Gubristunnel (Überholstreifen 26.6.2008) dargestellt.



Geschwindigkeit v

Die mittlere Geschwindigkeit bildet den Verlauf des Verkehrsflusses deutlich ab. Insbesondere der Einbruch der Geschwindigkeit kann einem stockenden Kolonnenverkehr gleichgestellt werden. Das Geschwindigkeitsniveau sinkt von rund 90 km/h auf unter 60 km/h ab.

→ als Steuerungsgrösse nutzbar



Belegungsgrad b

Analog der Geschwindigkeit nimmt aufgrund des stockenden Verkehrsablaufs die Belegung der Schlaufen deutlich zu. Ab einer Belegung zwischen 20 und 30% kann der Verkehrsfluss als gestört beurteilt werden.

→ als Steuerungsgrösse nutzbar

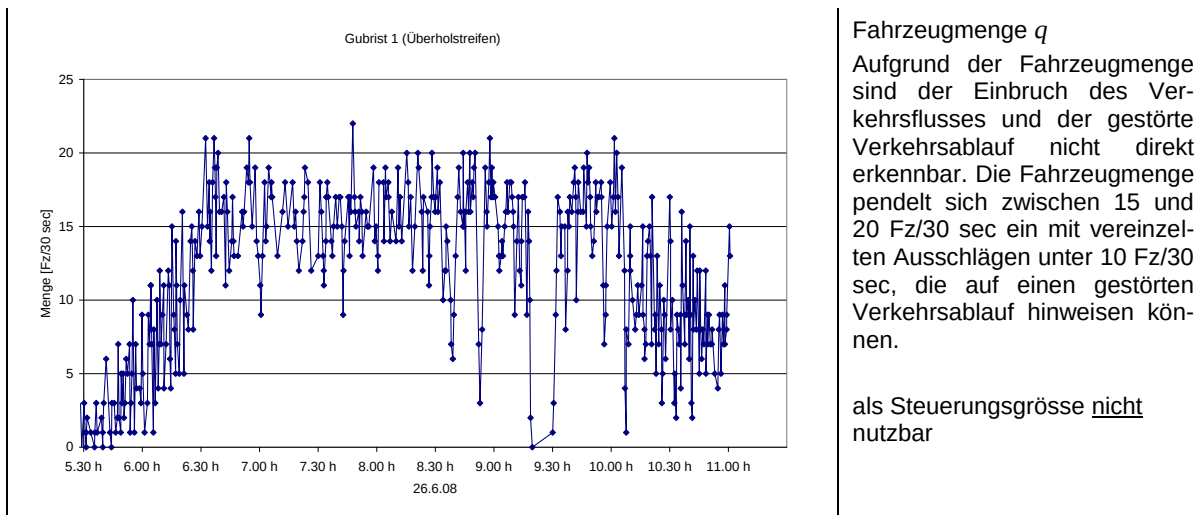


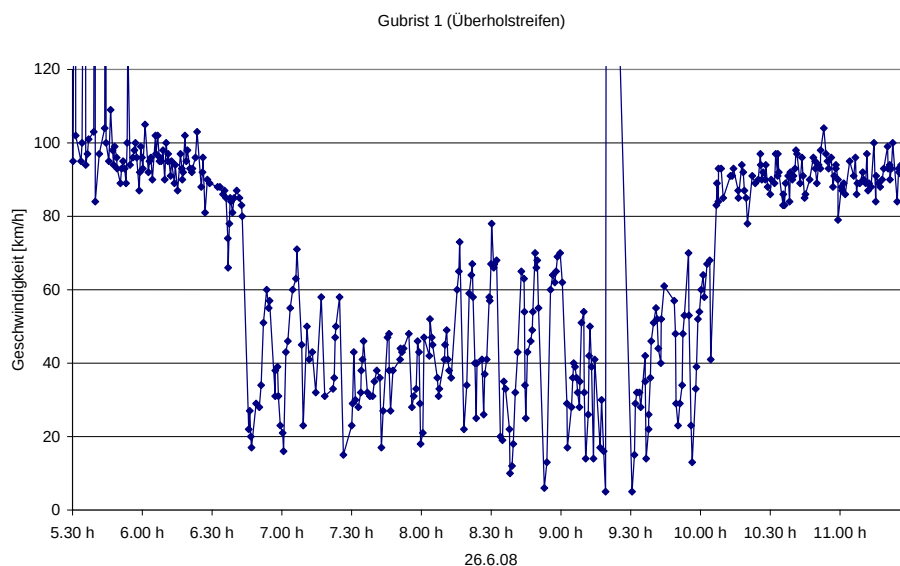
Abb. 28 Verlauf der drei Kenngrößen Geschwindigkeit, Belegungsgrad und Menge Gubristtunnel Überholstreifen Morgenspitze 26. 6. 2008

Für das Steuern der Rampenbewirtschaftung drängen sich somit die Kennwerte Geschwindigkeit und Belegungsgrad auf. Zudem wird oftmals das q - b – Diagramm aus dem Fundamentaldiagramm als weitere Beurteilungsgrösse miteinbezogen.

Diese Kenngrößen werden bei den meisten Algorithmen verwendet, auch bei den in der Schweiz in Betrieb stehenden Rampenbewirtschaftungen.

5.3.2 q - b - Diagramm

Als weitere Steuerungsgrösse bei Beeinflussungsanlagen wird oftmals das q - b – Diagramm eingesetzt wobei die Grenzlinie oftmals als Steuerungsgrösse eingesetzt wird. In der folgenden Abbildung sind der Geschwindigkeitseinbruch sowie die Auswirkungen im q - b – Belegungsdiagramm bei einer Messstelle im Gubristtunnel (Überholstreifen 26. 6. 2008) dargestellt.



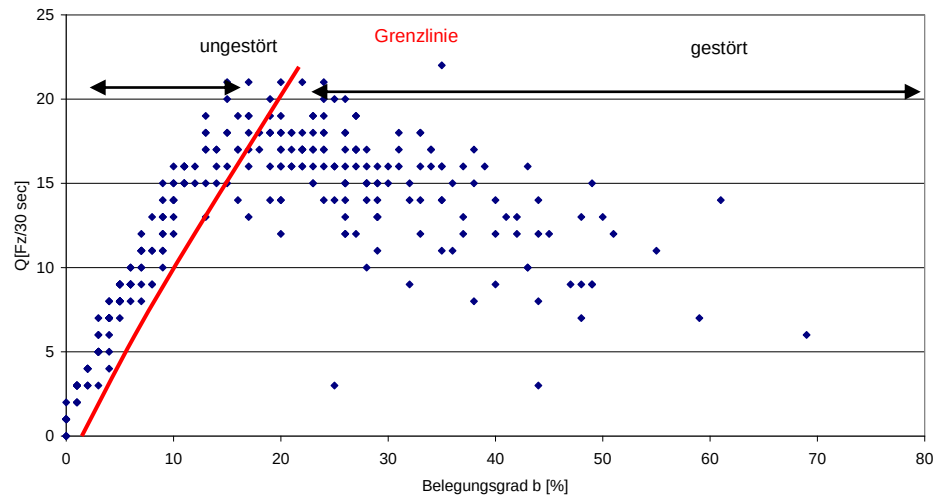


Abb. 29 Geschwindigkeitseinbruch und Auswirkungen auf q - b – Diagramm
Gubristunnel Überholstreifen Morgenspitze 26. 6. 2008

Im q - b – Diagramm kann zwischen dem ungestörten und gestörten Betrieb eine klare Grenzlinie gezogen werden. Im ungestörten Verkehrsablauf verlaufen die Messpunkte entlang eines relativ schmalen Geschwindigkeitsvektors links der Grenzlinie. Rechts der Grenzlinie ist der Verkehrsfluss gestört und die Fahrzeuge stauen sich auf der Stammlinie.

Die Grenzlinie kann abgebildet werden mit der Formel

$$q_{Gr}(t) = a \times b(t)^b$$

a / b : Parameter der Potenzfunktion
beeinflussen Steigung sowie Verlauf der Grenzlinie

5.3.3 Stauerkennung

Der Verkehrsablauf beziehungsweise der Verkehrsfluss kann somit neben der Geschwindigkeit und dem Belegungsgrad auch durch das q - b – Diagramm beurteilt werden. Diese drei Kennwerte werden bei den im Limmattal betriebenen Rampenbewirtschaftungen eingesetzt:

primäre Stauerkennung:

- Grenzlinie im q - b – Diagramm:

$$q_{Gr}(t) = a \times b(t)^b$$

sekundäre Stauerkennung:

- Belegungsgrad $b_{Grenz}(t)$
- Geschwindigkeit $v_{Grenz}(t)$

Anhand dieser drei Schwellen konnte bei den Rampenbewirtschaftungen im Limmattal und auf dem Nordring eine hohe Erkennungsrate bei einer kurzen Erkennungszeit des Staus gewährleistet werden. Dabei zeigte sich, dass der Steuerungsbefehl weitgehend durch die primäre Stauschwelle ausgelöst wurde. Dieser Ansatz entspricht dem Mc Master Modell¹.

¹ Das McMaster Modell wird in Kapitel 6.3 dargestellt

6 Steuerung der Rampenbewirtschaftung

6.1 Betriebsart der Rampenbewirtschaftung

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Betrieb der Rampenbewirtschaftung im Bereich des Limmattalerkreuzes zeigte sich, dass das Verlagern des Rückstaus von der Stammlinie auf die Rampen nicht funktioniert. Einerseits konnte der Rückstau auf der Stammlinie nicht verhindert werden und andererseits führte dieses starke Dosieren des einfahrenden Verkehrs zu Rückstau bis in die nachfolgenden Knoten und zu Ausweichverkehr zu ungesteuerten Anschlüssen. Die Auswirkungen der Rampenbewirtschaftung auf das untergeordnete Netz wurden unter anderem in [5] beschrieben.

Aufgrund der Ergebnisse wird die Steuerung nur auf das Aufteilen von Fahrzeugpuls in Einzelfahrzeuge ausgelegt und nicht auf eine Verlagerung des Rückstaus von der Stammlinie auf die Rampe. Die Anforderungen an das Regelungsverfahren beschränken sich somit auf dieses Einsatzgebiet.

6.2 Grundlagen des Regelungsverfahrens

Das Kernelement des Regelungsverfahrens ist der Steueralgorithmus. Auf den Grundlagen der Erfahrungen im In- und Ausland sowie den Erkenntnissen aus dem Pilotbetrieb bei verschiedenen Anschlüssen im Kanton Zürich stützt sich der Steueralgorithmus auf das McMaster Modell. Dabei wird das Regelungsverfahren in Anlehnung an [5] den neuen Erkenntnissen und Anforderungen der Rampenbewirtschaftung angepasst, vereinfacht und optimiert. In Abb. 30 sind die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den Anlageelementen der Stammlinie und der Rampe sowie den verkehrstechnischen Kenngrößen dargestellt.

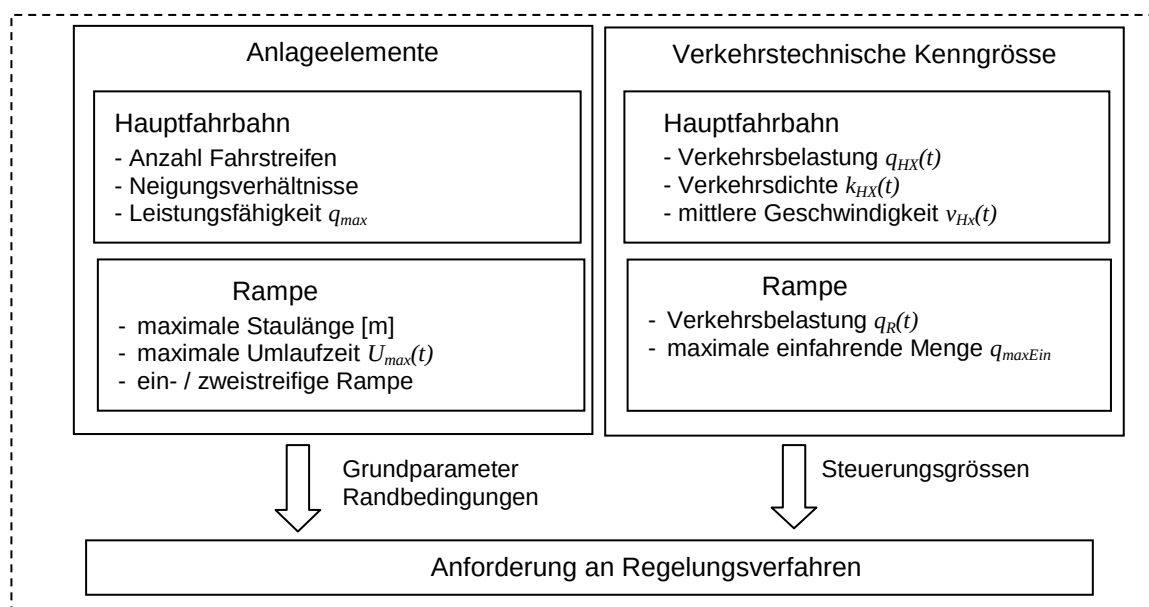


Abb. 30 Anforderungen an Regelungsverfahren

6.3 Anforderungen an den Steueralgorithmus

Der Steueralgorithmus umfasst die Ablauflogik zum Erfassen und Bewerten des Verkehrszustandes beziehungsweise seiner Veränderung auf der Stammlinie und der Rampe und leitet daraus die Anforderungen an die Steuerung ab. Auf der Stammlinie werden der Verkehrsablauf und die daraus abgeleiteten Verkehrsqualität permanent in kurzen Intervallen (in der Regel 30 sec) überwacht. Dabei werden bei einem Querschnitt die Geschwindigkeit und die Belegung der einzelnen Fahrstreifen ermittelt und die Resultate an das Regelungsverfahren weitergeleitet. Bei einer Verdichtung auf der Stammlinie liegt der Befehl zum Einschalten der Rampenbewirtschaftung vor.

Auf der Rampe wird die zufahrende Verkehrsbelastung prognostiziert und die vorhandenen Stauschlaufen überwacht. Zum Einschalten der Rampenbewirtschaftung aufgrund einer Verdichtung des Verkehrs auf der Stammlinie muss die Belastung der Rampenbewirtschaftung unterhalb der Leistungsfähigkeit der Rampenbewirtschaftung liegen und die Stauschlaufen auf der Rampe dürfen nicht belegt sein. Trifft eines dieser Kriterien nicht zu, kann die Rampenbewirtschaftung nicht in Betrieb genommen werden.

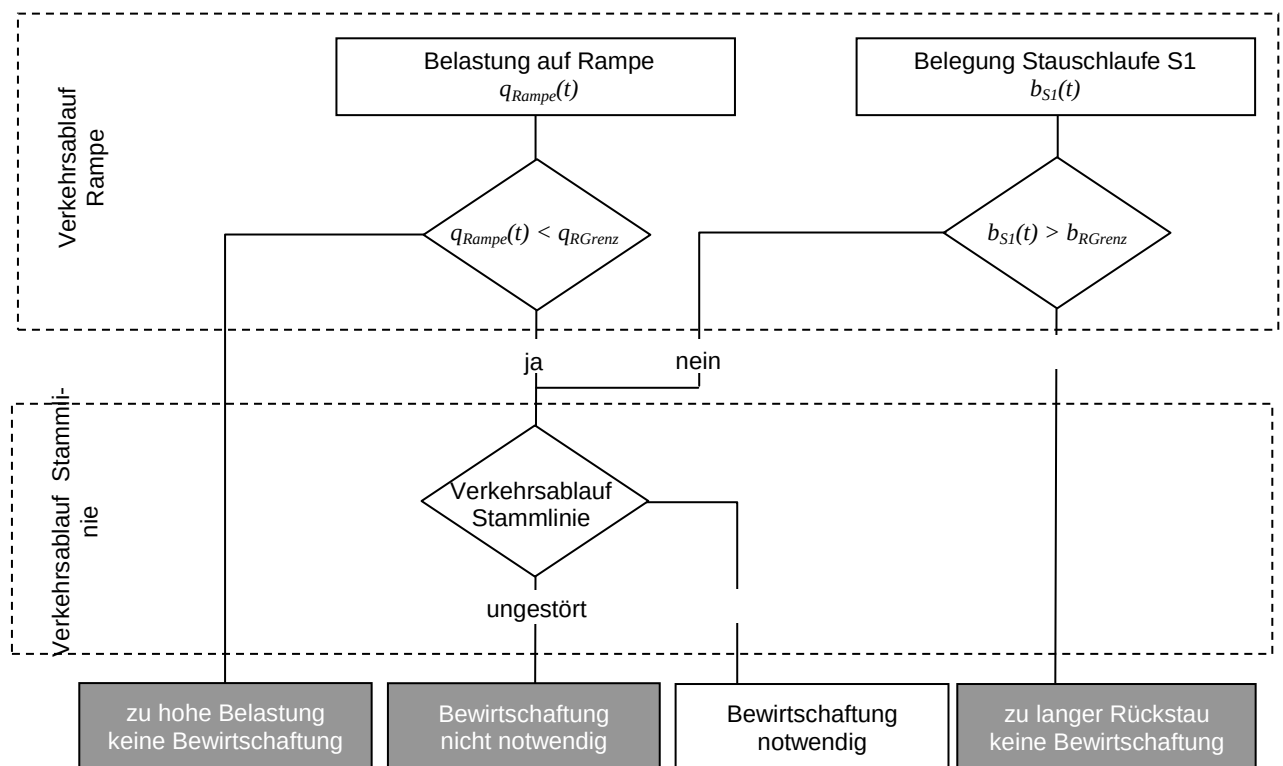


Abb. 31 Anforderungen an Steuerungsablauf

6.3.1 Bestimmen Verkehrsablauf auf Stammlinie

Zur Bestimmung der Verkehrsablaufs und des Verkehrszustandes auf der Stammlinie wird das McMaster – Modell eingesetzt. Das McMaster – Modell ist ein Steueralgorithmus, der auf der Stammlinie im Bereich der Einfahrt den Verkehrsablauf beurteilt und aufgrund der Kennwerte zwischen den Zuständen „ungestört“ und „gestört“ unterscheidet. Dabei wird der Verkehrsablauf aufgrund einer primär und zwei sekundären Grenzen beurteilt. Die primäre Grenze basiert auf dem Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke (q) und Belegungsgrad (b) und wird im q - b - Diagramm abgebildet. Als sekundäre Grenzen dienen der Belegungsgrad $b(t)$ und die Geschwindigkeit $v(t)$ alleine zur Beurteilung des Verkehrszustandes.

primäre Stauschwelle:

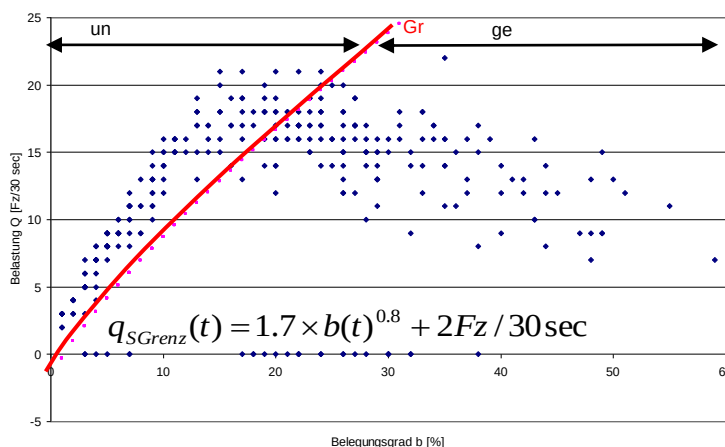
- Grenzlinie im q - b - Diagramm:

$$q_{SGrenz}(t) = a \times b(t)^b$$

sekundäre Stauschwellen:

- Belegungsgrad b_{SGrenz}
- mittlere Geschwindigkeit v_{SGrenz}

$$q_{SGrenz}(t) = a \times b(t)^b + q_{SKorrektur}$$



- Faktoren a und b
Parameter der Potenzfunktion; beeinflussen Steigung sowie Verlauf der Grenzlinie
- Faktor $q_{SKorrektur}$
Schnittpunkt mit y-Achse; führt zu Parallelverschiebung der Grenzlinie

Abb. 32 Anforderung an Steuerungsverfahren

Die Faktoren a und b sowie $q_{SKorrektur}$ werden manuelle im q - b – Diagramms festgelegt. Dabei ist die Grenzlinie so zu definieren, dass sie den ungestörten vom gestörten Verkehrsablauf trennt. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Veränderung der Grenzlinie bei unterschiedlichen Parameterfestlegungen.

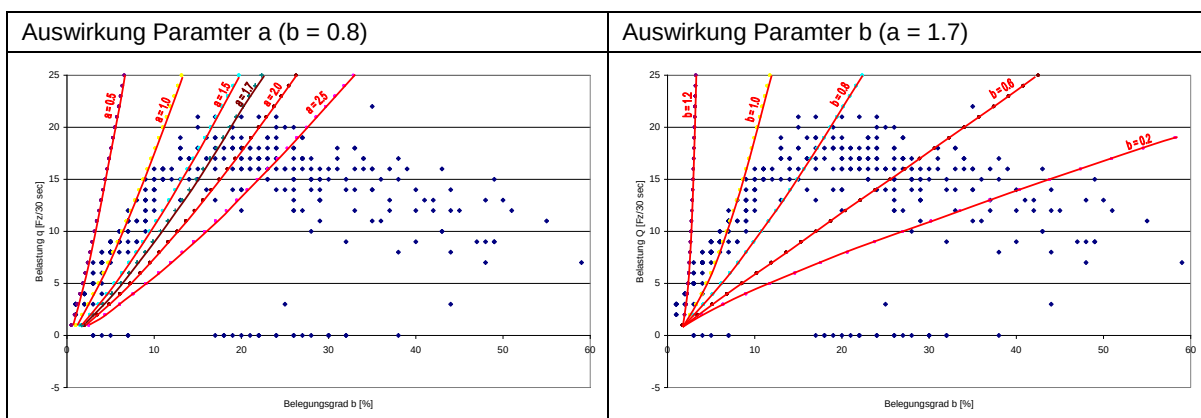


Abb. 33 Auswirkung der Festlegung der Parameter a und b :

Aufgrund der niedrigen Geschwindigkeit beim Betrieb der Rampenbewirtschaftung ist der Einfluss der Witterung auf die Leistungsfähigkeit in der Regel unbedeutend. Ein Wetterfaktor zur Berücksichtigung der Witterungsbedingungen wird bei diesem Ansatz nicht berücksichtigt.

6.3.2 Bestimmen Verkehrsablauf auf Rampe

Mit der Prognose der einfahrenden Verkehrsmenge auf der Einfahrt kann die Entwicklung der Rückstaulänge auf der Rampe abgeschätzt werden. Die einfahrende Verkehrsmenge berechnet sich nach dem Prognosemodell mit gleitender Korrektur. Für die Trendprognose wird das Verfahren der gleitenden Mittelwertbildung eingesetzt, bei dem eine exponentielle Glättung der Messwerte vorgenommen wird.

Bei dieser Trendmethode erhält der aktuelle Messwert das Gewicht α und die Messwerte der Vergangenheit erhalten das Gewicht $(1 - \alpha)$.

	q_p	Prognosewert, konstant während der gesamten Prognosezeit
	$\bar{q}_0$	exponentiell geglätteter Mittelwert zum aktuellen Zeitpunkt
$q_p = \bar{q}_0 = \alpha \times q_1 + (1 - \alpha) \times \bar{q}_{alt}$	q_1	letzter (jüngster) Messwert
	$\bar{q}_{alt}$	Exponentiell geglätteter Mittelwert der vorhergehenden Berechnung
	α	Glättungsfaktor für den Mittelwert $0 \leq \alpha \leq 1$

Je grösser der Faktor α ist, desto stärker ist die Angleichung an den aktuellen Verlauf der Ganglinie. Um den Verlauf der Ganglinie zuverlässiger prognostizieren zu können, kann die Differenz des jüngsten Messwertes zum geglätteten Mittelwert der vorangehenden Rechnung berechnet und als Korrekturwert eingesetzt werden.

$q_p = \bar{q}_0 + \Delta \bar{q}_0$	$\Delta \bar{q}_0$	exponentiell geglättete Differenz zum aktuellen Zeitpunkt
$\Delta \bar{q}_0 = \beta \cdot (q_1 - \bar{q}_{alt}) + (1 - \beta) \cdot \Delta \bar{q}_{alt}$	$\Delta \bar{q}_{alt}$	Exponentiell geglätteter Mittelwert der vorhergehenden Berechnung
	β	Glättungsfaktor für Trend $0 \leq \beta \leq 1$

In der folgenden Abbildung sind beispielhaft die Werte der Prognose den gemessenen Einfahrtsbelastungen gegenübergestellt. Die Frequenzen wurden im Minutenintervall am 19. 10. 2009 bei der Autobahn A1 beim Anschluss Wallisellen in Fahrtrichtung St. Gallen erfasst.

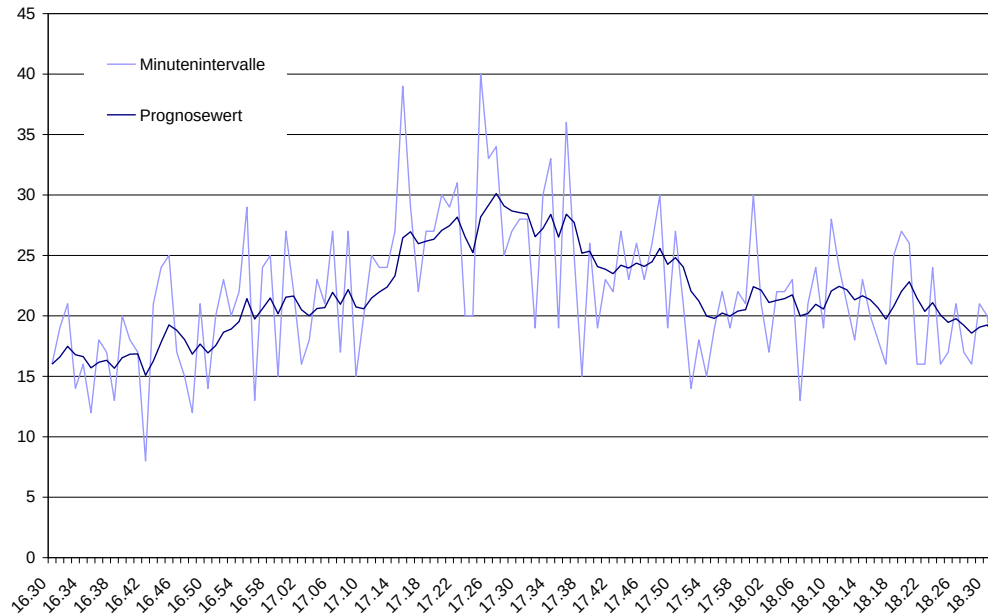


Abb. 34 Vergleich Werte Prognose mit gemessenen Belastungen
(A1, Anschluss Wallisellen Richtung St. Gallen, 19. 10. 2009)

Mit einer Stauschleife wird der Rückstau auf der Rampe überwacht. Für einen staufreien Zustand muss die Belegung der Stauschleife $b(t)$ unterhalb dem Grenzwert b_{RGrenz} liegen. Mit einer Iteration analog der Prüfung auf der Stammlinie wird ein Flattern der Steuerung vermieden.

$$b(t) \leq b_{RGrenz}$$

$b(t)$ letzter (jüngster) Messwert der Belegung
 b_{RGrenz} Grenzwert der Belegung zur Stauerfassung

Der Grenzwert der Belegung der Stauschleife muss für jede Rampe separat eruiert werden. Der Grenzwert ist stark abhängig von der Streckengeometrie und der Verkehrssituation und bedingt umfangreiche Voruntersuchungen. Als erste Grössenordnung kann ein Grenzwert von $b_{RGrenz} = 30\%$ eingesetzt werden.

6.4 Regelungsverfahren

Im Folgenden werden die Regelungsverfahren für das Erkennen eines gestörten beziehungsweise ungestörten Verkehrsablaufs, das Festlegen der Umlaufzeit sowie das Überwachen der Rückstaulänge aufgeführt.

6.4.1 Erkennung gestörter Verkehrsablauf

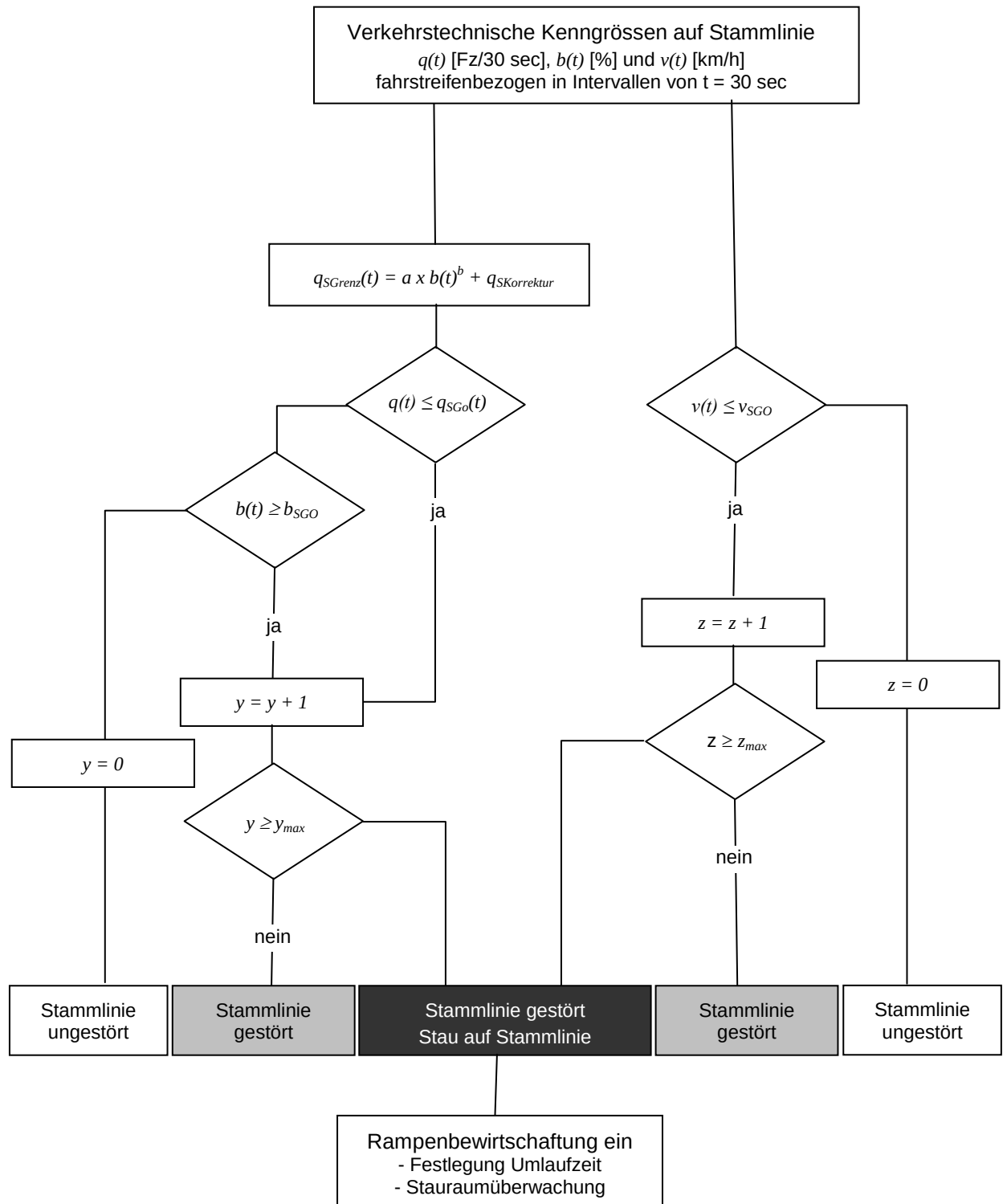


Abb. 35 Erkennung gestörter Verkehrsablauf

6.4.2 Erkennung ungestörter Verkehrsablauf

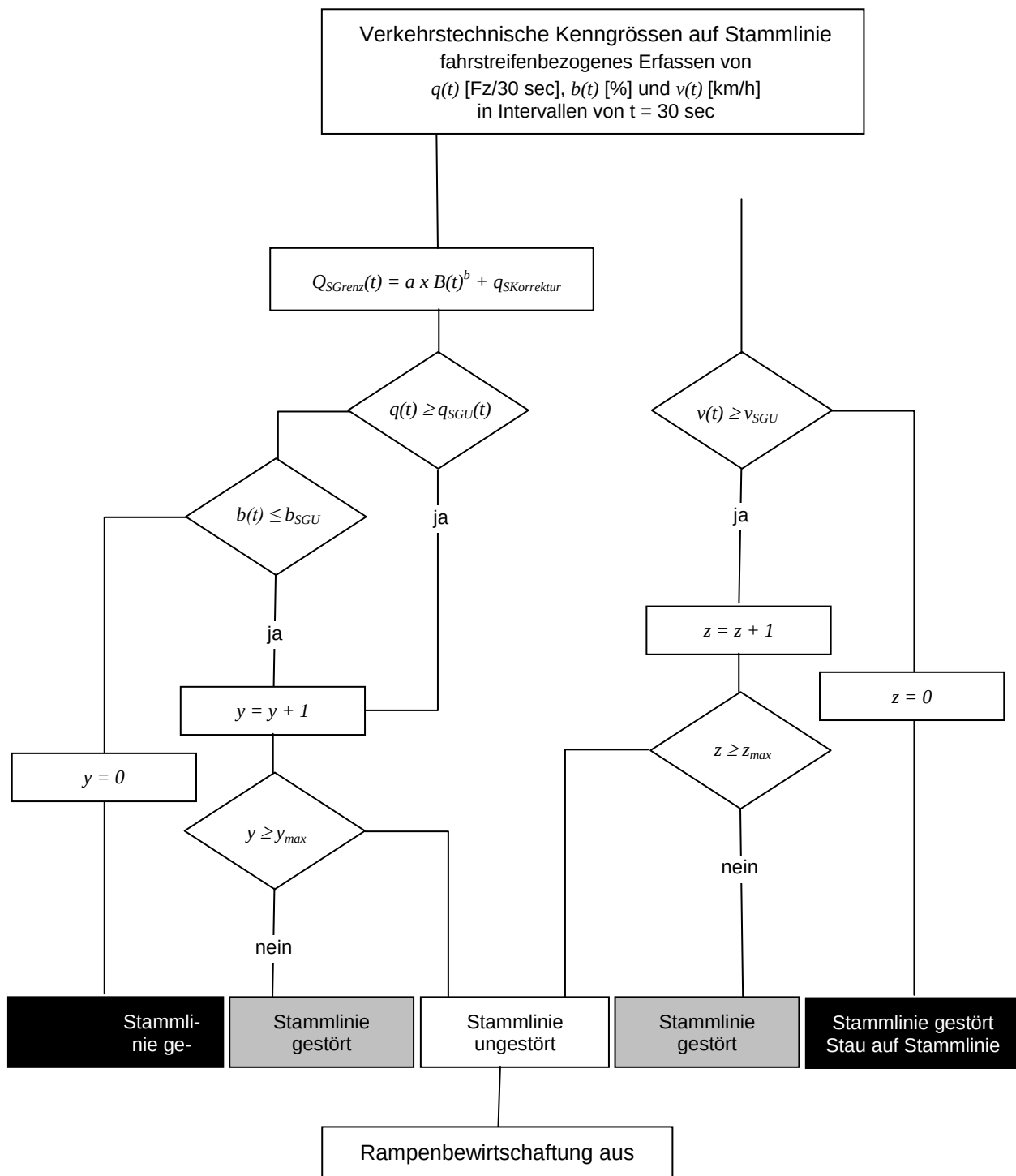


Abb. 36 Erkennung ungestörter Verkehrsablauf

6.4.3 Festlegung der Umlaufzeit

Die Umlaufzeit wird auf der Basis der auf der Rampe einfahrenden Verkehrsmenge berechnet. Dabei wird die Umlaufzeit so festgelegt, dass die im vorangehenden Zeitintervall gemessene Verkehrsbelastung im folgenden Zeitintervall einfahren kann. Um ein Flattern der Umlaufzeit zu verhindern, wird die einfahrende Verkehrsmenge über mehrere vorangehende Zeitintervalle geglättet (Trendmethode mit geglättetem Mittelwert). Der berechnete Wert wird immer auf ganze, gerade Sekunden gerundet.

Liegt die prognostizierte Verkehrsmenge über der Leistungsfähigkeit der Rampenbewirtschaftung kann diese nicht in Betrieb genommen werden. Unabhängig des berechneten Wertes darf die Umlaufzeit zudem nicht über einem vordefinierten maximalen Wert liegen um hohe Verlustzeiten für einzelne Fahrzeuglenkende auf der Rampe verhindern zu können. Als Richtwert der maximalen Umlaufzeit kann das Dreifache der minimalen Umlaufzeit angenommen werden.

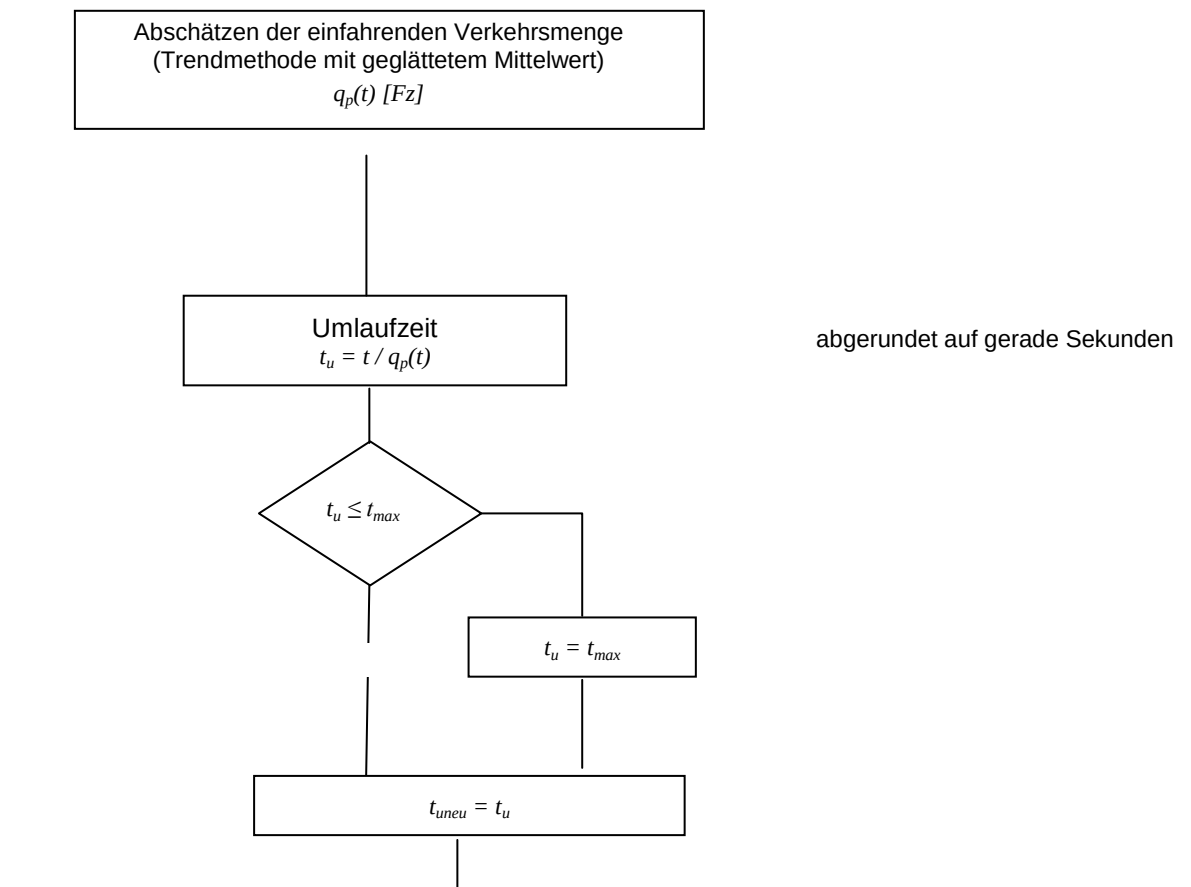


Abb. 37 Festlegen der Umlaufzeit

6.4.4 Überprüfen der Staulänge

Der Rückstau auf der Rampe darf sich nicht bis zum nachgelagerten Knoten zurückbilden. Trotz dem laufenden Anpassen der Umlaufzeit an die auf die Rampe einfahrende Verkehrsmenge muss der Stauraum auf der Rampe überwacht und gegebenenfalls in die Steuerung der Rampe eingegriffen werden.

Beim Ansprechen der Stauschleife wird sofort die minimale Umlaufzeit geschaltet und diese über mehrere Intervalle beibehalten. Kann der Rückstau trotz der kurzen Umlaufzeit nicht innert nützlicher Frist abgebaut werden, muss die Rampenbewirtschaftung abgeschaltet werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Entleerung des Stauraumes sehr träge ist und vor dem Abbau des Rückstaus durch die kurze Umlaufzeit die Staulänge weiter anwächst.

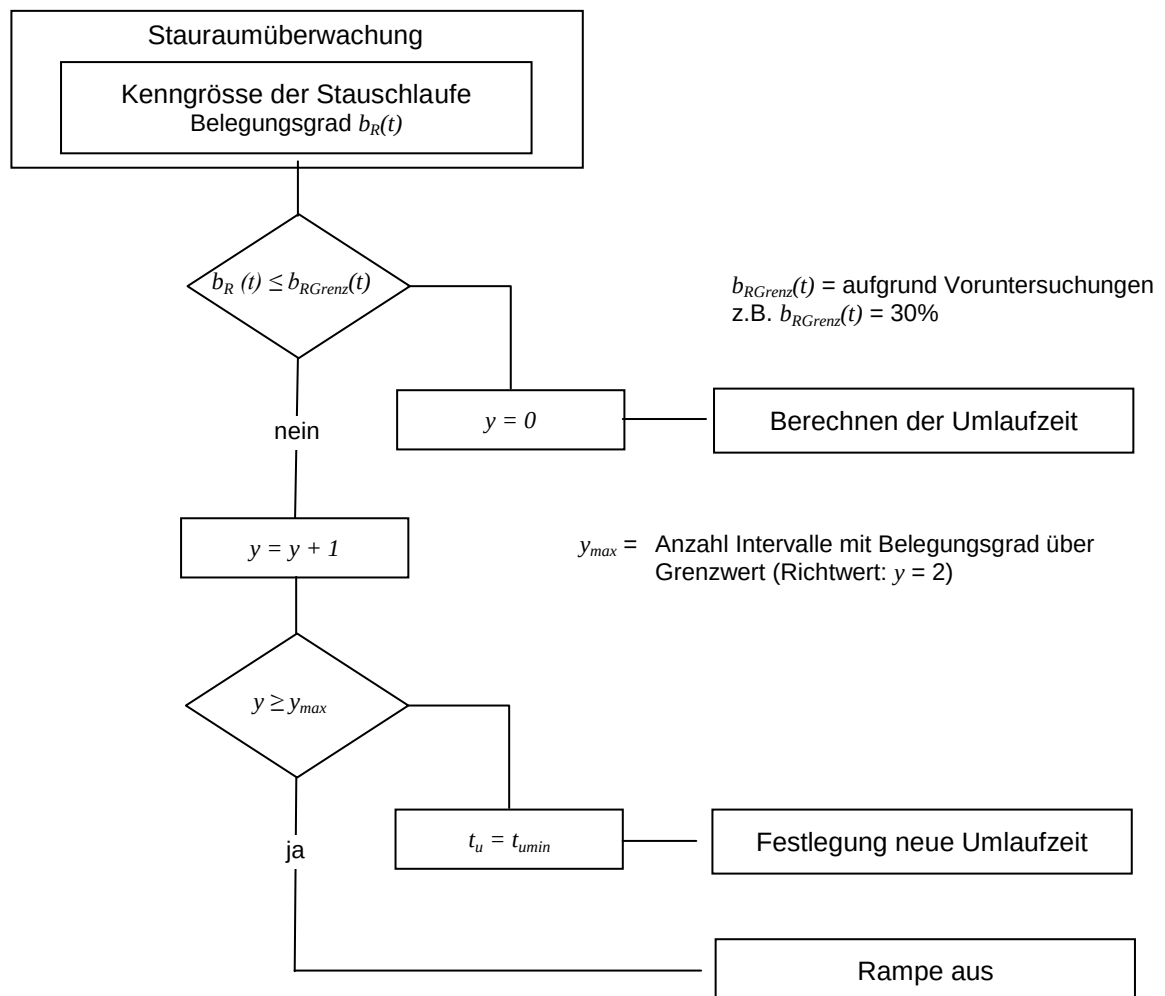


Abb. 38 Überprüfen Staulänge

6.5 Anforderung an die Parametrierung

Eine verkehrsabhängig optimal gesteuerte Rampenbewirtschaftung bedingt das korrekte Justieren der einzelnen Parameter beim Steuralgorithmus und beim Regelungsverfahren. Dabei muss eine benutzerfreundliche Parametrierung im Vordergrund stehen um gezielt und effizient Anpassungen in der Steuerung vornehmen zu können.

Bei der korrekten Parametrierung der Rampenbewirtschaftung reagiert die Steuerung automatisch auf Änderungen im Verkehrsablauf. Korrekturen bei den Parametern sind nach der Justierung nur noch nach baulichen Anpassungen im angrenzenden Netz notwendig.

Insbesondere das Festlegen der Parameter a und b der Grenzlinie im q - b – Diagramm erfordert fundierte Kenntnisse der Zusammenhänge im Verkehrsablauf und bedingt aktuelle Grundlagen zum Justieren der Parameter. Dabei müssen die Belastungs- $q(t)$ und die Belegungsgradwerte $b(t)$ für die einzelnen Fahrstreifen vorliegen. Anhand dieser können die Grundeinstellungen der Faktoren a und b definiert werden. Zudem dienen die vorliegenden Grundlagen zum Festlegen des kritischen Belegungsgrads $b_{Grenz}(t)$ auf der Stammlinie und der Rampe sowie der Grenze des Geschwindigkeitsniveaus $v_{Grenz}(t)$.

Während dem Betrieb der Rampenbewirtschaftung muss am Bildschirm online der Verkehrsablauf anhand der verschiedenen Kennwerte auf der Stammlinie und der Rampe überprüft werden können. Dabei muss insbesondere beim Überschreiten eines Grenzwerts der massgebende Detektor und das Kriterium der Stauerkennung angezeigt werden. Während dieser Pilotphase kann die Feinjustierung der Rampenbewirtschaftung erfolgen und die einzelnen Parameter auf die Situation ausgerichtet werden.

In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Parameter dargestellt und ihre Funktion aufgeführt.

Tab. 3 Parameter des Steuerungsalgorithmus und des Regelungsverfahrens

	Parameter	Funktion
Steuralgorithmus		
Stammlinie	a, b $q_{SKorrektur}$	Parameter zum Definieren der Grenzlinie im q - b – Diagramm Korrekturfaktor zur Parallelverschiebung der Grenzlinie
Rampe	q_{RGrenz} b_{RGrenz} α, β	maximale Belastung aufgrund Leistungsfähigkeit Rampenbew. Belagungsgrad, der Stau auf Induktionsschlaufe anzeigt Glättungsfaktoren für Mittelwert der Trendmethode
Regelungsverfahren		
gestörter Verkehrsablauf	$q_{SGrenzoben}$ $v_{SGrenzoben}$ $b_{SGrenzoben}$ y_{max}, z_{max}	obere Grenzwerte der Belastung, Geschwindigkeit und Belegung zum Erkennen des gestörten Verkehrsablaufs Anzahl Iterationsschritte bis Schaltung erfolgt
ungestörter Verkehrsablauf	$q_{SGrenzunten}$ $v_{SGrenzunten}$ $b_{SGrenzunten}$ y_{max}, z_{max}	untere Grenzwerte der Belastung, Geschwindigkeit und Belegung zum Erkennen des ungestörten Verkehrsablaufs Anzahl Iterationsschritte bis Schaltung erfolgt
Festlegung Umlaufzeit	t_{Umax}	max. Umlaufzeit um Zeitverluste auf Rampe zu beschränken
Überwachung Stauraum	y_{max}	Anzahl Iterationsschritte bis Schaltung erfolgt

7 Pilotversuch

7.1 Übersicht

In Abb. 39 ist die Situation zwischen der Verzweigung ZH-Ost und dem Autobahndreieck Brüttisellen mit dem Anschluss Wallisellen / Neugut dargestellt. Die Stammlinie der Autobahn A1 ist auf diesem Abschnitt dreistreifig ausgebildet. Über den Anschluss Wallisellen / Neuguet sind die Gemeinden Dübendorf und Wallisellen sowie der Stadtteil Zürich – Nord an die Autobahn angeschlossen. Insbesondere liegt das Einkaufszentrum Glatt mit über 4'000 Parkfeldern im unmittelbaren Bereich des Anschlusses.

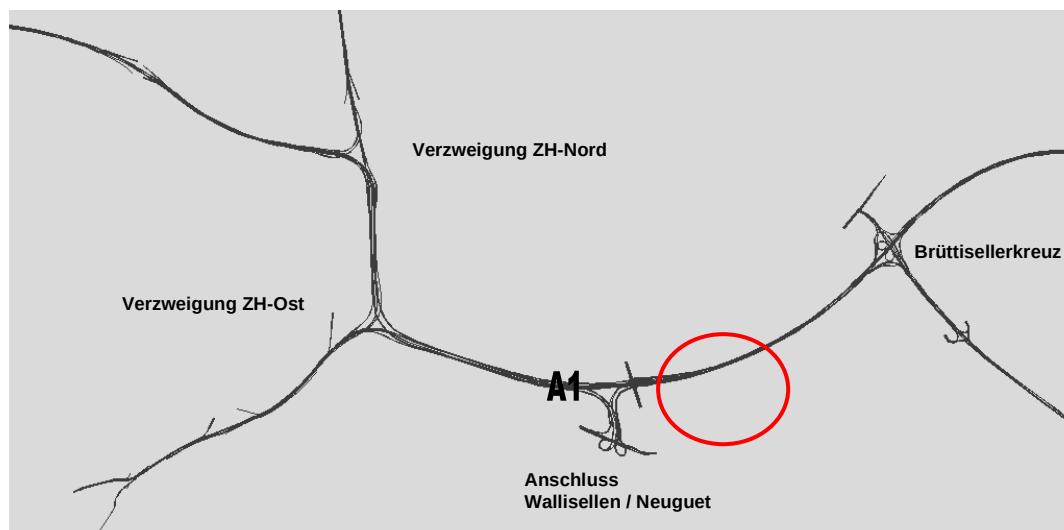


Abb. 39 Untersuchungsgebiet mit Anschluss Wallisellen / Neuguet.

Mit der Verkehrsbeeinflussungsanlage (VBA) Zürich Nord soll der Verkehrsfluss auf der Stammlinie verbessert werden. Neben der Umnutzung der Standstreifen zwischen der Verzweigung Zürich Ost und dem Autobahndreieck Brüttisellen sollen die zulässige Höchstgeschwindigkeit (heute statisch 100 km/h signalisiert) in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung dynamisch gesteuert sowie mit Rampenbewirtschaftungen der Zufluss zur HLS in den kritischen Bereichen dosiert werden.

Bis zur Umnutzung der Standstreifen als zusätzliche Fahrstreifen soll als Sofortmassnahme der Verkehrsablauf auf der Stammlinie mit einer Rampenbewirtschaftung beim Anschluss Wallisellen / Neuguet in Fahrtrichtung St.Gallen (Brüttisellerkreuz) verbessert werden.

7.2 Anschluss Wallisellen / Neuguet

Abb. 40 zeigt die Führung der Rampen im Bereich des Anschlusses Wallisellen. Auf der Rampe werden die Fahrbeziehungen Richtung St. Gallen und Zürich von der Überlandstrasse bis zur Verzweigung getrennt geführt.

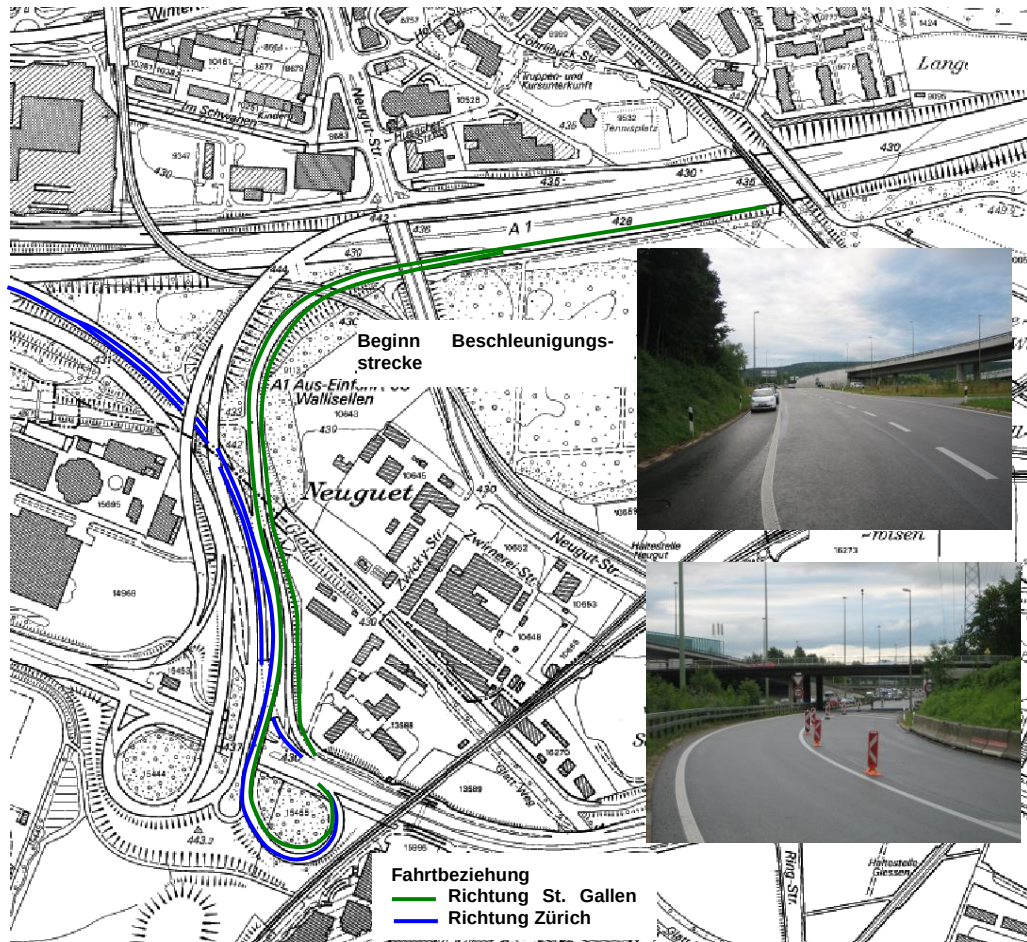


Abb. 40 Übersicht Anschluss Wallisellen / Neuguet.

Die Einfahrt Richtung St. Gallen ist mit einem Beschleunigungs-, Manövrier- und Einfädelungsbereich als klassische Einfahrt ausgestaltet. Die Fahrzeuglenkenden fahren auf den rechten Fahrstreifen ein, der beim Brüttisellerkreuz Richtung A53 beziehungsweise zum Anschluss Brüttisellen führt. Die Fahrzeuglenkenden in Richtung Winterthur / St. Gallen müssen innerhalb der rund 1'700 m bis zum Brüttisellerkreuz mindestens einen Fahrstreifenwechsel durchführen.

7.3 Rampe mit verlängerter Einfahrt

7.3.1 Verlängerung Beschleunigungsstreifen

Für einen sicheren und leistungsfähigen Verkehrsablauf wurde die Rampen-LSA erst nach dem Kurvenbereich angebracht, dadurch kann die Einfahrtsstrecke deutlich verlängert werden. Mit dieser Massnahme liegt der Signalgeber der Rampenbewirtschaftung ausserhalb des Kurvenbereichs in der nachfolgenden Gerade, sodass infolge der besseren Sicht die Verkehrssicherheit erhöht werden kann. Zudem wird durch den grösseren Stauraum zwischen der Rampen-LSA und dem Verflechtungsbauwerk der Einfahrt Wallisellen die Fahrtbeziehung Richtung Bern durch einen allfälligen Rückstau weniger stark tangiert. Der Verkehrsablauf auf der Einfahrtsrampe Wallisellen kann verbessert und die Konflikte im Verflechtungsbereich können reduziert werden.

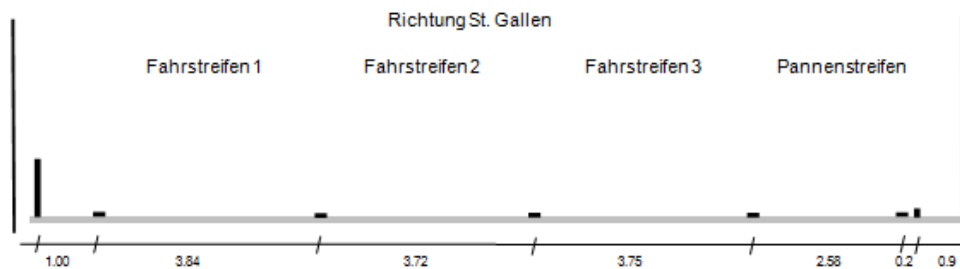
Mit dem Bau der Rampenbewirtschaftung wurde der Beschleunigungsstreifen auf 300 m verlängert, so dass auch der Schwerverkehr aus dem Stand die notwendige Geschwindigkeit erreichen kann.

Die Verlängerung der Einfahrtsrampe bedingte bauliche Anpassungen im Anschlussbereich. Der ganze Einfahrtsbereich musste verlängert und die Aufteilung der Fahrstreifen auf der Stammlinie der neuen Ausgangslage angepasst werden. Dabei wurde der Einfahrtsbereich von der geometrischen Nase bis zum Beginn des Beschleunigungsstreifens mit Leitbaken von der Stammlinie abgetrennt. Dadurch können frühzeitige Fahrstreifenwechsel von einfahrenden Fahrzeugen verhindert werden.

7.3.2 Querschnittsanpassungen Fahrbahn Richtung St. Gallen

Die lichte Breite unterhalb der Eisenbahnbrücke zwischen der bestehenden Leitplanke und dem Brückenfundament beträgt knapp 16.0 m. In den folgenden Abbildungen sind die heutige sowie die angepasste Fahrstreifenaufteilung im Bereich des Brückenquerschnitts dargestellt. Mit dem zusätzlichen Einfahrtsstreifen in diesem Querschnitt weisen die einzelnen Fahrstreifen eine Breite von jeweils 3.5 m auf. Dies entspricht gemäss [8] der Fahrstreifenbreite bei der Umnutzung des Pannestreifens als Fahrstreifen.

vor Umsetzung Rampenbewirtschaftung



nach Umsetzung Rampenbewirtschaftung

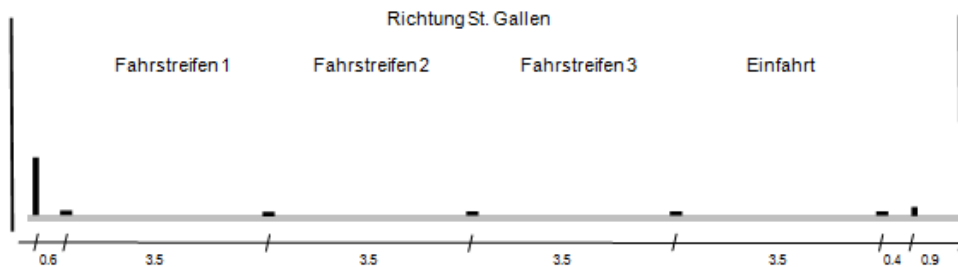


Abb. 41 Aufteilung Fahrbahn Richtung St. Gallen [m]

7.3.3 Zufahrt für Fahrzeuge der Blaulichtorganisationen

Während dem Betrieb der Rampenbewirtschaftung stauen sich während der Hauptverkehrszeiten die Fahrzeuge zweistreifig auf der Rampe Richtung St. Gallen. Die Fahrstreifen weisen je einer Breite von 3.75 m und der angrenzende Pannestreifen eine Breite von 2.80 m auf. Diese Abmessungen reichen aus, damit für Fahrzeuge der Blaulichtorganisationen eine Rettungsgasse gebildet werden kann. Somit ist auch während dem Betrieb der Rampenbewirtschaftung die Zufahrt zur Hochleistungsstrasse für Fahrzeuge der Blaulichtorganisationen gewährleistet.

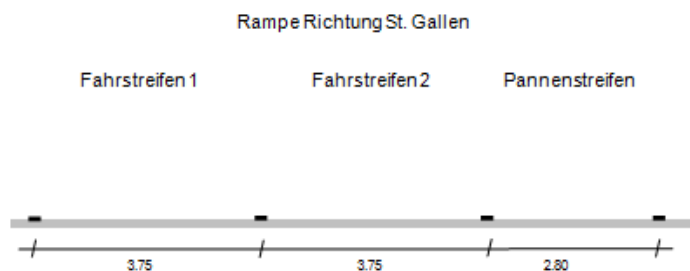


Abb. 42 Aufteilung der Fahrstreifen Rampe Richtung St. Gallen [m]

Auf der Stammlinie kann mit Fahrstreifenbreiten von je 3.5 m ebenfalls das Bilden einer Rettungsgasse für Fahrzeuge der Blaulichtorganisationen gewährleistet werden. Als einziges kritisches Element ist der Wechsel von der Einfahrt in die Rettungsgasse zu erwähnen, falls diese zwischen dem ganz linken und dem mittleren Fahrstreifen gebildet wird. Diese Problematik besteht jedoch unabhängig der Rampenbewirtschaftung.

7.4 Signalisation

Der Stauraum bis zur Rampenbewirtschaftung wurde zweistreifig geführt. Das heisst, der Fahrstreifenabbau geschieht erst nach der Signalisation der Bewirtschaftung. Die beiden Einfahrtsrampen aus Zürich und Dübendorf werden nach der Bewirtschaftung zusammengeführt. Der rechte Fahrstreifen aus Richtung Dübendorf wird abgebaut. Der Abbau wird beim Standort der Bewirtschaftung mit dem Signal 4.77/16 «Verminderung von Fahrstreifen» angezeigt.

Gemäss SN 640 807 «Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen» wurde für die Einzelfahrzeugsteuerung eine Lichtsignalanlage (Rampen-LSA) eingerichtet, welche für die beiden Fahrstreifen jeweils einen Signalgeber mit zwei Leuchtfeldern beinhaltet. Die Signalgeber wurden zudem mit je einem Wechselsignal 1.31 «Stau» und der Zusatztafel «1 Auto» ausgerüstet.

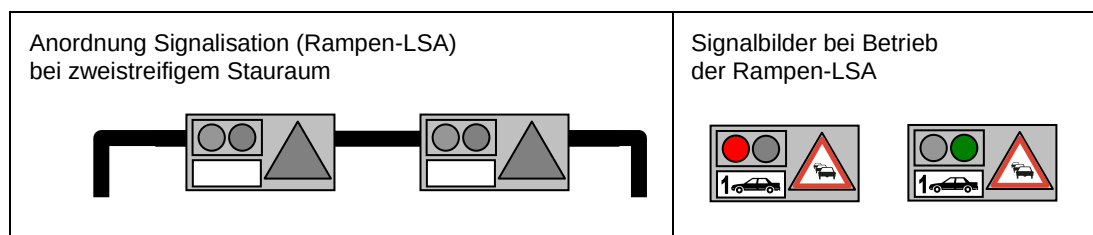


Abb. 43 Signalisation und Signalbilder bei zweistreifigem Stauraum

Mit dem Signal 1.27 «Lichtsignale» wird der Betrieb der Rampenbewirtschaftung auf den Einfahrtsrampen angekündigt. Zur Signalisation werden Prismen-Wechselsignale eingesetzt. Das Vorsignal 1.27 auf der Rampe von Zürich her ist mit dem Zusatzhinweis «Rampe St. Gallen» ausgestattet, um Missverständnisse zu verhindern. Auf der Höhe der Vorsignale 1.27 «Lichtsignale» werden zudem Signale 1.31 «Stau» (Prismen-Wechselsignale) angeordnet.

Die Signale 2.30 «Höchstgeschwindigkeit» auf den Zufahrtsrampen werden ebenfalls als Prismen-Wechselsignale ausgelegt. Im Normalbetrieb wird die Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h signalisiert, während dem Betrieb der Rampenbewirtschaftung wird die Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h reduziert.

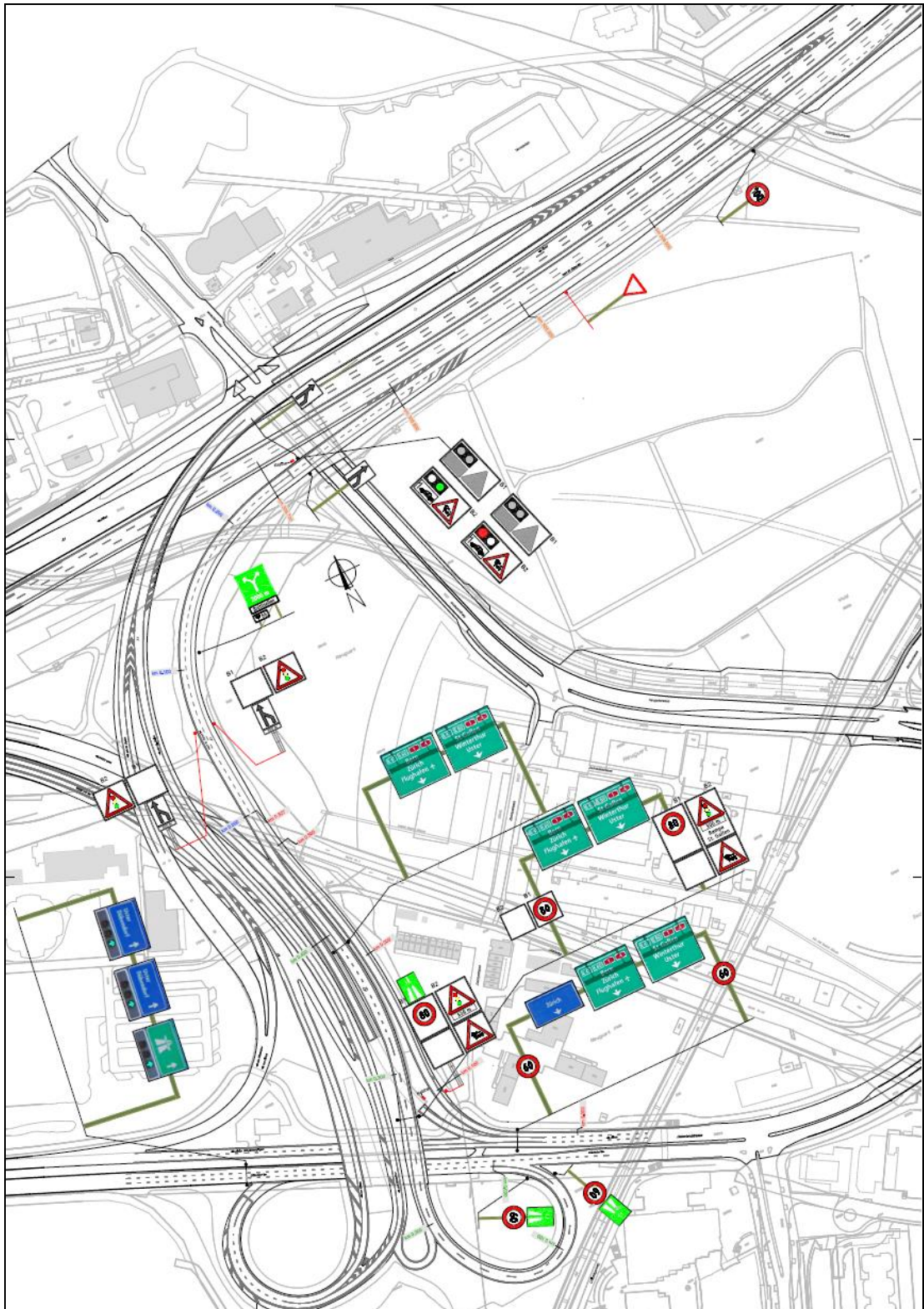


Abb. 44 Signalisation und Markierung

7.5 Steuerung und Phasenablauf

7.5.1 Steueralgorithmus

Zur Bestimmung des Verkehrsablaufs und des Verkehrszustandes auf der Stammlinie wird das McMaster – Modell eingesetzt. Das McMaster – Modell ist ein Steueralgorithmus, der auf der Stammlinie im Bereich der Einfahrt den Verkehrsablauf beurteilt und aufgrund der Kennwerte zwischen den Zuständen „un-gestört“ und „gestört“ unterscheidet. Dabei wird der Verkehrsablauf aufgrund einer primär und zwei sekundären Grenzen beurteilt. Die primäre Grenze basiert auf dem Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke (q) und Belegungsgrad (b) und wird im q - b - Diagramm abgebildet.

$$q_{SGrenz}(t) = a \times b(t)^b + q_{SKorrektur}$$

In der folgenden Tabelle sind die Parameter für die Stammlinie dargestellt.

Tab. 4 Stammlinie: Parameter mit Grenzwerten

Paramter	Grenzwert	Beschrieb
S_a	1.7	QB-Grenzlinie, Faktor a
S_b	0.8	QB-Grenzlinie, Faktor b
$SQ_{Korrektur}$	-2 Fz / Intervall	QB-Grenzlinie, Q-Korrektur
GQ_{gest}	30 Fz / Intervall	Grenzwert für Belastung (Verkehrsablauf gestört)
GB_{gest}	25 %	Grenzwert für Belegung (Verkehrsablauf gestört)
GV_{gest}	60 km/h	Grenzwert für Geschwindigkeit (Verkehrsablauf gestört)

In **Abb. 45** ist beispielhaft das Q-B Diagramm vom 5. 11. 2014 mit der Grenzlinie dargestellt. Die Rampenbewirtschaftung war an diesem Tag zwischen 16.43 Uhr bis 18.54 Uhr in Betrieb.

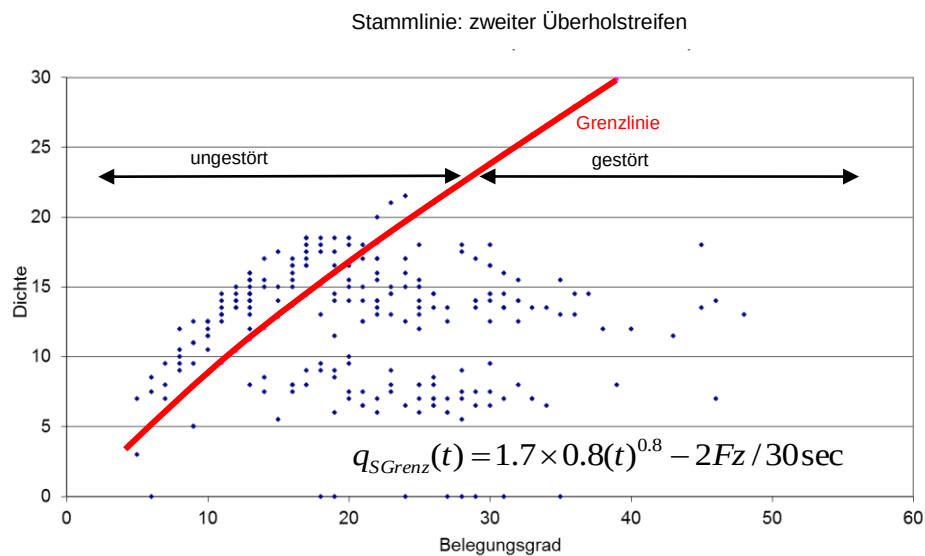


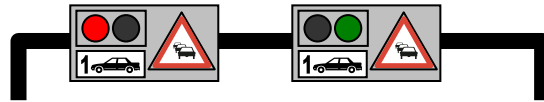
Abb. 45 zweiter Überholstreifen Q-B Diagramm mit Grenzlinie, 5. 11. 2014 16.00 bis 19.00 Uhr

7.5.2 Umlaufzeiten und Leistungsangebot

Grundeinstellungen

Bei einer Einzelfahrzeugsteuerung kommen Zweikammerrampen zum Einsatz. Der Lichtsignalgeber zeigt während der Bewirtschaftung

- eine Grünphase von 2 sec
- eine variable Rotphase
- keine Gelbphase /
keine Rot- und Gelbphase an.



Bei der Grundeinstellung lag die minimale Umlaufzeit bei sechs Sekunden. Um Abschaltungen aufgrund Rückstaus bis zum vorgelagerten Knoten zu verhindern, wurde in Ausnahmesituationen die Umlaufzeit auf fünf Sekunden verkürzt.

Tab. 5 Umlaufzeit und Leistungsangebot

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Umlaufzeit	8 sec	6 sec	5 sec
Leistung (zwei Fahrstreifen)	900 Fz/h	1'200 Fz/h	1'440 Fz/h
Grünzeit	2 sec	2 sec	2 sec
Rotzeit	6 sec	4 sec	3 sec

Ein- und Ausschalten

Das Ein- und Ausschaltbild der Rampen-LSA sowie die Ansteuerung der Wechselsignale erfolgt gemäss SN 640 807. Im Einschaltvorgang werden aus dem Zustand «dunkel» die Signalgeber der Rampen-LSA für zehn Sekunden auf Stehendgrün und nach weiteren drei Sekunden von Blinkendgrün auf Rot geschaltet. Mit dem Blinkendgrün werden die Wechselsignale der Rampen-LSA und der Vorsignalisierung eingeschaltet. Im Ausschaltvorgang werden die Signalgeber aus dem Alles-Rot in Stehendgrün geschaltet, welches zehn Sekunden dauert. Danach werden die Signalgeber auf «dunkel» gestellt. Mit dem Stehendgrün werden die Wechselsignale der Rampen-LSA und der Vorsignalisierung ausgeschaltet. Die Rampen-LSA wird gleitend abgeschaltet, das heisst, es wird ein Nachlauf der Anlage mit kurzer Umlaufzeit von fünf Sekunden zwischengeschaltet.

Offener Probebetrieb

Am 28. 10. 2014 wurde die Rampenbewirtschaftung Wallisellen in Betrieb genommen. Während der ersten vier Wochen wurde die Anlage im offenen Probebetrieb betrieben. Beim offenen Probebetrieb erfolgen die Analyse der Einflussfaktoren sowie die Sensitivität der einzelnen Indikatoren auf sicherheits- und verkehrstechnische Aspekte. Dabei werden die Steuerparameter kalibriert und eingestellt. Gleichzeitig wurde eine Systemanalyse durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Schwerpunkte untersucht:

- Ein- / Ausschaltkriterien
- Algorithmen mit Grenzwerten
- Stabilitätstests zum Gewährleisten des zuverlässigen Betriebs der Steuerung
- Wirkungsnachweis der verkehrsabhängigen Steuerung der Rampenbewirtschaftung
- Darstellen der Auswirkungen auf Verkehrsablauf, Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit

Bereits nach wenigen Tagen zeigte sich, dass um ein Überstauen der Rampe verhindern zu können, die Umlaufzeit auf vier Sekunden verkürzt werden musste. Dadurch konnte das Leistungsangebot der Einfahrtsrampe auf 1'800 Fz/h erhöht werden. Die Umlaufzeiten für die drei Stufen wurden wie folgt angepasst

Tab. 6 *optimierte Umlaufzeit und Leistungsangebot nach Probebetrieb*

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Umlaufzeit	6 sec	5 sec	4 sec
Leistung (zwei Fahrstreifen)	1'200 Fz/h	1'440 Fz/h	1'800 Fz/h
Grünzeit	2 sec	2 sec	2 sec
Rotzeit	4 sec	3 sec	2 sec

Mit diesen Anpassungen konnten Notausschaltungen aufgrund eines Überstauens des untergeordneten Netzes annähernd verhindert werden. Zwischen dem 29. 10 und dem 5. 12. 2014 (37 Tage) wurden nur noch drei Notausschaltungen registriert.

8 Auswertungen Steuerungsablauf

8.1 Ausgewertete Zeiträume

Die Wirkung der Rampenbewirtschaftung wurde im Zeitraum zwischen dem 29. 10. und dem 5. 12. 2014 (37 Tage) analysiert und ausgewertet. Der Vergleich zum Verkehrsablauf ohne Zufahrtsdosierung erfolgte auf den Daten zwischen dem 19. und dem 25. 11. 2014. Während dieser Woche wurde die Anlage auf Blindbetrieb geschaltet, damit letzte Anpassungen vorgenommen werden konnten. Im Blindbetrieb funktioniert die Steuerung aktiv, jedoch werden die Schaltbefehle nicht an die Signale weitergegeben.

8.2 Betriebsdauer Rampenbewirtschaftung

In Abb. 46 ist der Geschwindigkeitsverlauf auf dem zweiten Überholstreifen vom 5. 11. 2014 dargestellt. Die Auswertung zeigt, dass aufgrund des Geschwindigkeitseinbruchs auf der Stammlinie der Betrieb der Rampenbewirtschaftung während der Abendspitze gerechtfertigt war.

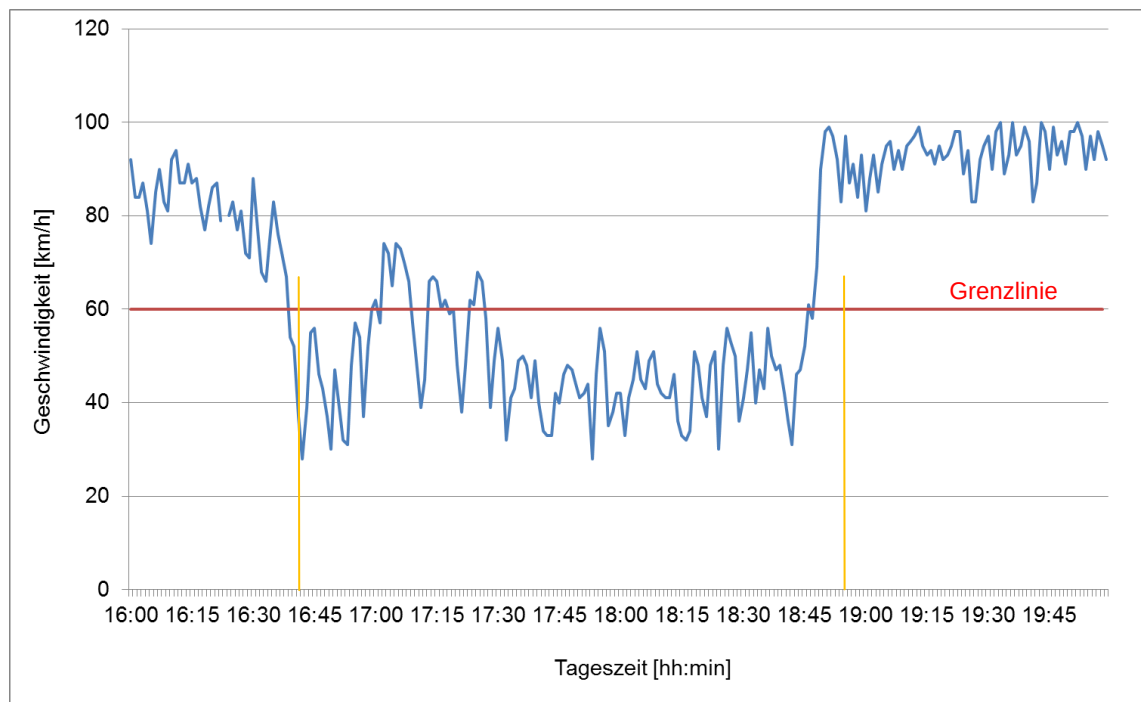


Abb. 46 zweiter Überholstreifen Geschwindigkeitsverlauf, 5. 11. 2014 16.00 bis 19.00 Uhr

Erkenntnisse

- ⇒ Der Steueralgorithmus reagiert auf den Verkehrsablauf auf der Stammlinie. Durch die Iteration bei der Ein- und Ausschlaltung ergibt sich gegenüber dem Verkehrsablauf jeweils eine Verzögerung von fünf Minuten (zehn Iterationsschritte à 30 sec).

- ⇒ Durch die Iteration kann ein „Flattern“² der Schaltung vermieden werden. Jedoch können die Verzögerungen bei der Einschaltung unter Umständen einen Zusammenbruch auf der Stammlinie nicht verhindern.
- ⇒ Rampenbewirtschaftung wird bei einem Einbruch des Geschwindigkeitsniveaus zu spät aktiviert. Bei der Einschaltung sollte die Iteration, die das „Flattern“ der Steuerung vermeidet, verkürzt werden.

Während der ausgewerteten 37 Tage war die Rampenbewirtschaftung während der Abendspitze durchschnittlich rund eine Stunde (63 min) in Betrieb. Während an einem Tag (Montag 10. 11. 2015) die Rampenbewirtschaftung nicht angesprochen hatte, war sie am 5. 11. 2014 zwischen 16.43 Uhr bis 18.54 Uhr während über zwei Stunden ununterbrochen in Betrieb. In der Abbildung ist die Summenkurve der Betriebsdauer der Rampenbewirtschaftung über den Zeitraum der 37 Tage dargestellt.

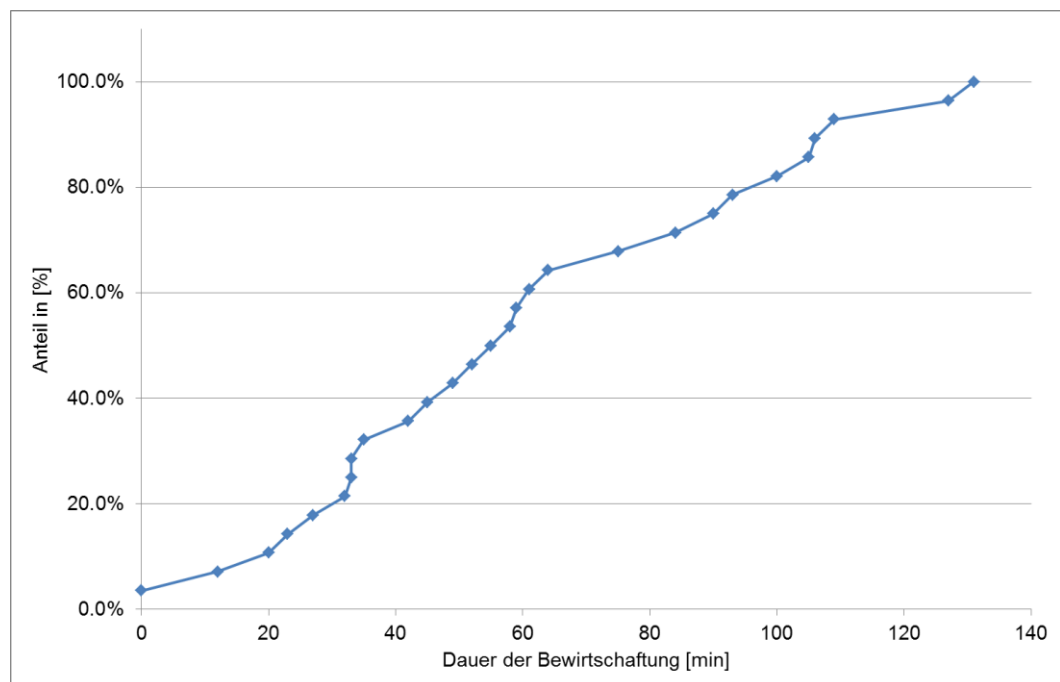


Abb. 47 Summenkurve Dauer der Bewirtschaftung (über 37 Werktage)

Erkenntnisse

- ⇒ Die grosse Varianz der Betriebsdauer der Rampenbewirtschaftungsanlage zeigt den labilen Verkehrsablauf auf diesem Abschnitt der Autobahn.
- ⇒ Neben der Einfahrt Wallisellen führen auch die Verflechtungen im Zufahrtsbereich zum Autobahndreieck Brütisellen zu Behinderungen im Verkehrsablauf.

8.3 Einfahrtsrampe

8.3.1 Belastung und Prognosewerte

Mit der Prognose der einfahrenden Verkehrsmenge auf der Einfahrt kann die Entwicklung der Rückstaulänge auf der Rampe abgeschätzt und die Umlaufzeit entsprechend ange-

² Ein- und Ausschalten in sehr kurzen und für die Fahrzeuglenker nicht nachvollziehbaren Zeitabständen

passt werden. In der folgenden Abbildung sind die Belastungen der Rampe [Fz/min] sowie der Prognosewert dargestellt.

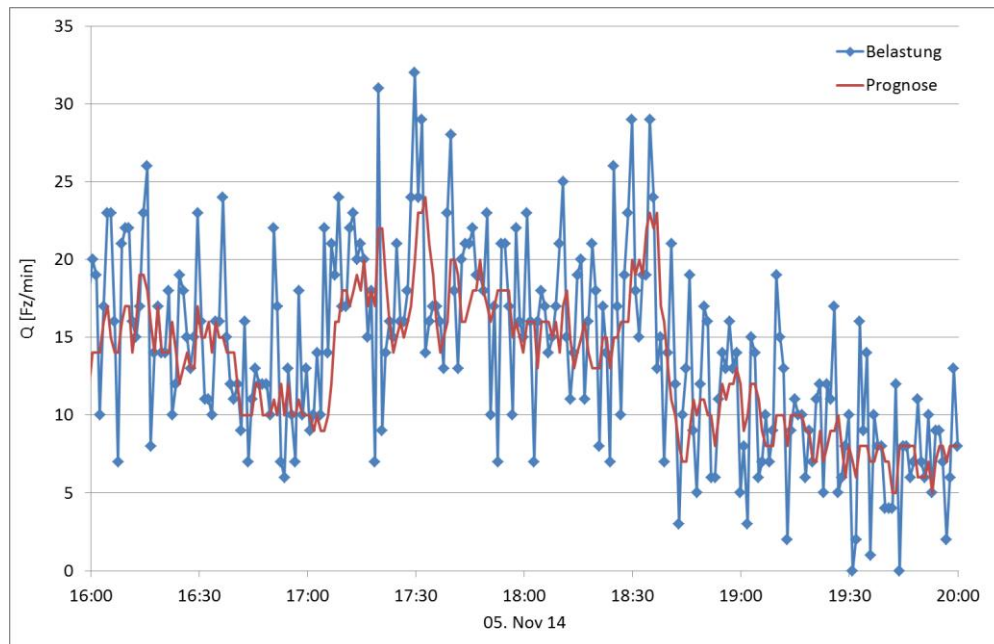


Abb. 48 Einfahrtsrampe: Belastung und Prognosewert
Abendspitze 5. 11. 2014

Erkenntnisse

- ⇒ Mit dem Verfahren der gleitenden Mittelwertbildung (Trendprognose) kann die Entwicklung genügend genau abgeschätzt und die Messreihe entsprechend geglättet werden.
- ⇒ Da mit der Rampenbewirtschaftung das Aufteilen der Fahrzeugpuls in Einzelfahrzeuge und nicht eine Verlagerung des Rückstaus auf die Einfahrtsrampe angestrebt wird, eignen sich die Prognosewerte zur Steuerung der Umlaufzeit der Rampen-LSA.

8.3.2 Umlaufzeiten

Die Umlaufzeit wird aufgrund der Belastung auf der Rampe (Prognosewert) und in Abhängigkeit der Rückstaulänge auf der Rampe festgelegt. Dabei wird aufgrund der prognostizierten Belastung die längst mögliche Umlaufzeit geschaltet. Beim Ansprechen der Stauschlaufen auf der Rampe wird die Umlaufzeit entsprechend verkürzt. Dadurch soll ein Rückstau auf das untergeordnete Netz verhindert werden. In der folgenden Abbildung sind die Umlaufzeiten der Rampe und die Prognosewerte der Belastung dargestellt. Dabei zeigt sich, dass mit zunehmender Belastung die Umlaufzeit verkürzt werden musste. Dreimal musste sogar die kürzeste Umlaufzeit von vier Sekunden für rund 30 Sekunden geschaltet werden, um einen zu langen Rückstau auf der Rampe abbauen zu können.

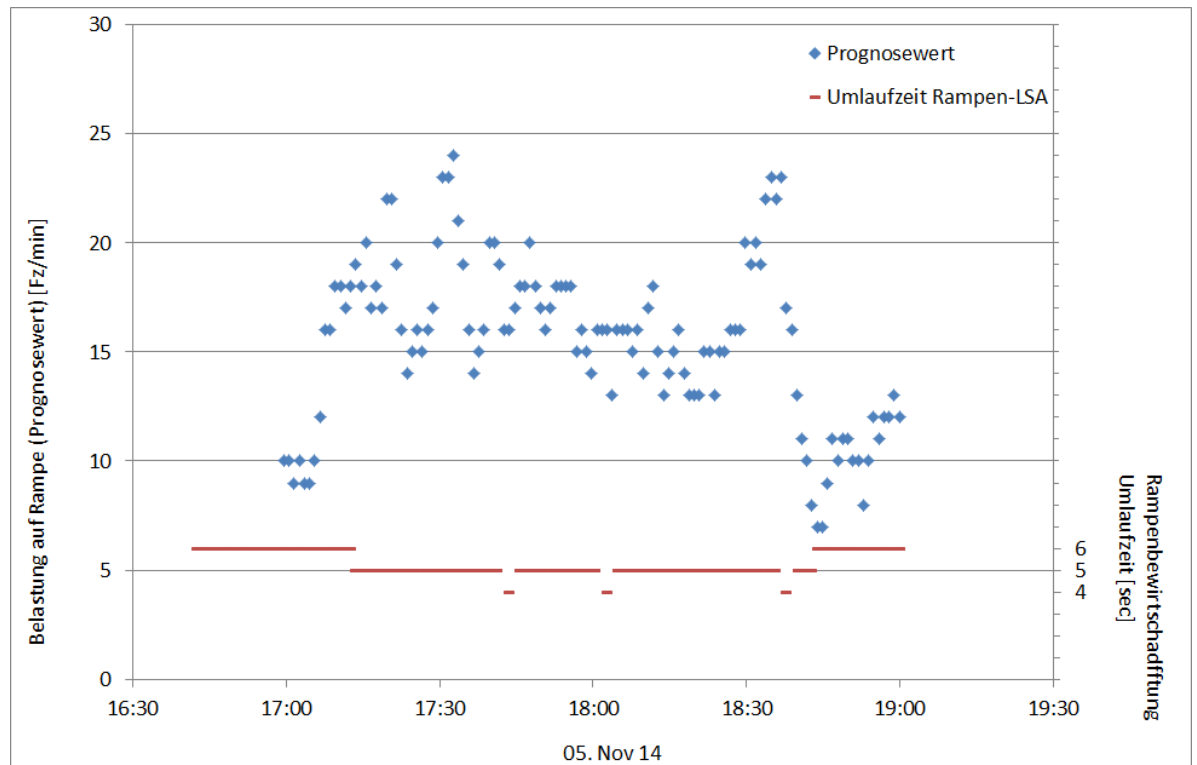


Abb. 49 Umlaufzeit der Rampen-LSA und Prognosewert
Abendspitze 5. 11. 2014

Erkenntnisse

- ⇒ Die Auswertung zeigt, dass die Anlage nach der Einschaltung während der ersten Viertelstunde mit einer Umlaufzeit von sechs Sekunden betrieben wird. Anschließend muss in der Regel die Umlaufzeit auf fünf, zeitweise sogar auf vier Sekunden verkürzt werden.
- ⇒ Während der Hauptverkehrszeit mit Belastungen von über 900 Fz/h (15 Fz/min) beträgt die Umlaufzeit 5 sec. Höhere Umlaufzeiten führen bei diesen Belastungen zu einem Rückstau auf der Rampe.

8.4 Akzeptanz der Rampen-LSA

Trotz der kurzen Umlaufzeit von fünf Sekunden (alle 2.5 Sekunden erhält ein Fahrstreifen seine Grünphase), die einen „Rollstopp“ ermöglichen würde, war die Akzeptanz der Rampen-LSA hoch. Missachtungen wurden registriert kurz nach der Einschaltung oder wenn sich vor der Rampen-LSA kein Rückstau gebildet hatte und die Fahrzeuglenker mit einer leichten Anpassung der Geschwindigkeit ihre Grünphase erreichen konnten.



Abb. 50 Akzeptanz der Rampen-LSA

Erkenntnisse

- ⇒ Die Rampenbewirtschaftung sollte nur in Betrieb genommen werden, wenn eine minimale Belastung auf der Rampe registriert wird und sich ein kurzer Rückstau vor der Rampen-LSA bildet. Unter diesen Voraussetzungen kann die Akzeptanz als gut beurteilt werden.
- ⇒ Als kritisch müssen Situationen beurteilt werden, bei denen sich die Fahrzeuge nicht vor der Rampen-LSA stauen sondern in einem lockeren Abstand zufahren. Die Missachtungen der Rampen-LSA sind deutlich höher als bei einem Rückstau auf der Rampe.

9 Verkehrsablauf auf der Stammlinie

9.1 Übersicht

In der folgenden Abbildung ist die Übersicht der Stammlinie mit der Fahrstreifenaufteilung zwischen dem Anschluss Wallisellen und dem Autobahndreieck Brüttsellen dargestellt (Fahrtrichtung St. Gallen). Der Abstand zwischen der Einfahrt und dem Autobahndreieck liegt bei rund 1'800 m.

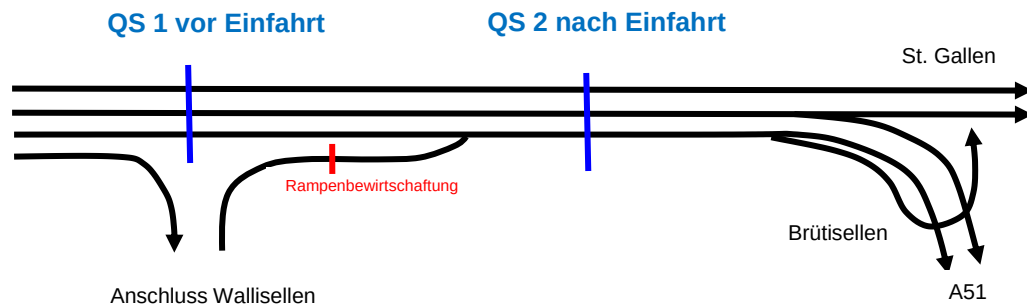


Abb. 51 Übersicht Fahrstreifenaufteilung Stammlinie

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten dürfte ein grosser Anteil der beim Anschluss Wallisellen einfahrenden Fahrzeuglenker in Richtung St. Gallen weiterfahren. Somit müssen diese Fahrzeuglenker nach der Einfahrt auf die Stammlinie mindestens einen Fahrstreifenwechsel vollziehen.

Unter der Annahme, dass drei Viertel der einfahrenden Fahrzeuglenker Richtung St. Gallen fährt, sind dies während der Spitzenstunde bis zu 900 Fahrstreifenwechsel resp. 15 Fahrstreifenwechsel pro Minute.

Erkenntnisse

- ⇒ Hohe Anzahl Fahrstreifenwechsel zwischen der Einfahrt Wallisellen und dem Autobahndreieck Brüttsellen führt zu starken Behinderungen im Verkehrsablauf. Mit der Rampenbewirtschaftung können die Behinderungen im Verkehrsablauf aufgrund der Fahrstreifenwechsel vor dem Autobahndreieck Brüttsellen nicht entschärft werden.

9.2 Autobahndreieck Brüttsellen

Im Autobahndreieck Brüttsellen führen der Normal- und der erste Überholstreifen auf die Autobahn A53 und der erste und zweite Überholstreifen weiter Richtung St. Gallen. Unmittelbar vor der Verzweigung beginnt zudem der Verzögerungsstreifen der Ausfahrt Brüttsellen.



Abb. 52 Übersicht Fahrstreifenaufteilung Autobahndreieck Brüttisellen

Im Zufahrtsbereich zum Autobahndreieck Brüttisellen wird nur der Normalstreifen als Verbindung zur A53 signalisiert, erst unmittelbar im Bereich der Verzweigung erfolgt die Signalisation, die anzeigt dass auch vom ersten Überholstreifen in Richtung A53 gefahren werden kann. Mit einer Anpassung der Signalisation können unnötige Fahrstreifenwechsel im Zufahrtsbereich vermieden und die Auslastung der einzelnen Fahrstreifen verbessert werden (vgl. beispielsweise Signalisation Verzweigung Blegi Kanton Zug).

9.3 Fahrstreifenaufteilung auf der Stammlinie

In der folgenden Abbildung sind die Fahrstreifenaufteilung und Geschwindigkeiten (im Querschnitt) auf der Stammlinie vor und nach der Einfahrt Wallisellen dargestellt. Ausgewertet wurde die Abendspitze vom 5. November 2014.

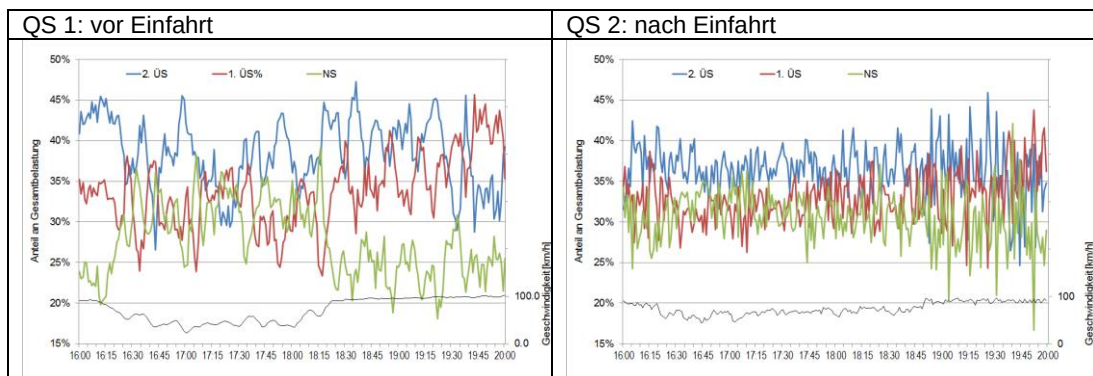


Abb. 53 Fahrstreifenaufteilung und Geschwindigkeit auf Stammlinie (05. 11. 2014)

Die Auswertung zeigt, dass bei einem ungestörten Verkehrsablauf vor der Einfahrt Wallisellen rund 25% auf dem Normalstreifen, 35% auf dem ersten und 45% auf dem zweiten Überholstreifen fahren. Bei einem stockenden Kolonnenverkehr gleichen sich die Belastungen der drei Fahrstreifen in etwa an.

Beim Querschnitt 2 zwischen der Einfahrt Wallisellen und dem Autobahndreieck Brüttisellen gleichen sich die Belastungen der drei Fahrstreifen unabhängig des Verkehrsablaufs an. Die Auslastung der drei Fahrstreifen liegt zwischen 33% und 37% und ist deutlich ausgeglichener als beim Querschnitt 1.

Erkenntnisse

- ⇒ Die Einfahrt Wallisellen mit über 1'200 Fz/h führt zu einer Verkehrszunahme und somit zu einer deutlich höheren Belastung auf dem Normalstreifen. Die Belastungen der drei Fahrstreifen gleichen sich an.
- ⇒ Die Erholung des Geschwindigkeitseinbruchs beim Querschnitt 2 dauert länger als beim Querschnitt 1. Jedoch fällt während der ganzen Zeit das Geschwindigkeitsniveau weniger tief ab als bei Querschnitt 1.
- ⇒ Das Autobahndreieck Brütisellen führt zu einer Anpassung der Fahrstreifen-aufteilung aufgrund der Wunschlinien der Fahrzeuglenker. Aufgrund der kurzen Distanz zwischen der Einfahrt Wallisellen und dem Autobahndreieck überlagern sich diese beiden Ereignisse, so dass keine klaren Schlüsse betreffend der Wirkung der Rampenbewirtschaftung auf die Belastung der Fahrstreifen abgeleitet werden können.

9.4 Belastung während Abendspitze

Zur Beurteilung der Wirkung der Rampenbewirtschaftung wurden drei Tage mit (5. / 26. / 27. Nov. 2014) und zwei Tage ohne Bewirtschaftung der Rampe (19. / 25. Nov. 2015) ausgewertet. Zur Optimierung der Parameter der Steuerung wurde die Rampenbewirtschaftung zwischen dem 19. und dem 25. Nov. 2015 in den Blindbetrieb geschaltet. In der folgenden Tabelle sind die Verkehrsbelastungen auf der Stammlinie und auf der Rampe dargestellt.

Tab. 7 Verkehrsbelastungen mit und ohne Bewirtschaftung

	Bewirtschaftung in Betrieb						Bewirtschaftung <u>nicht</u> in Betrieb			
	5.11.2014		26. 11. 2014		27. 11. 2014		19. 11. 2014		25. 11. 2014	
Zeit	HLS	Rampe	HLS	Rampe	HLS	Rampe	HLS	Rampe	HLS	Rampe
16 - 17	4290	891	4'870	1'180	4'753	1'127	4'705	1'156	4'713	1'141
17 - 18	4293	1080	4'248	1'141	4'300	1'106	4'169	1'206	4'346	1'222
18 - 19	4297	922	3'693	898	3'840	862	4'357	765	4'189	864
19 - 20	4303	506	3'340	543	3'604	541	3'356	518	2'972	527

In der folgenden Abbildung sind die Belastungen der Stammlinie und der Rampe zwischen 16.00 und 17.00 Uhr dargestellt. Zwischen der Einfahrt Wallisellen und dem Autobahndreieck Brütisellen liegen die Belastungen des dreistreifigen Abschnittes bei knapp 6'000 Fz/h.

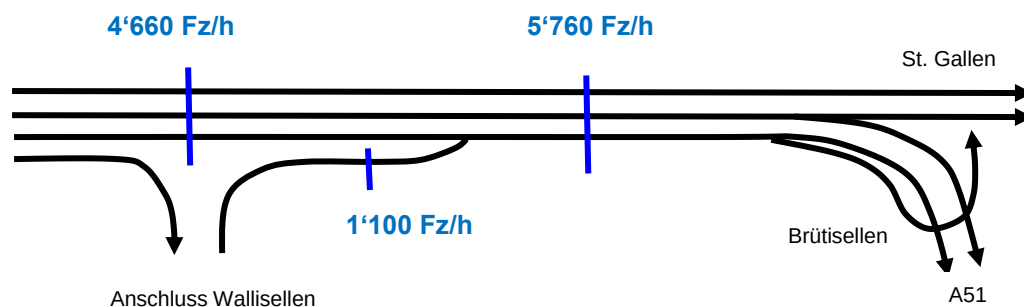


Abb. 54: mittlere Belastung Abendspitze Nov. 2014 (16.00 bis 17.00 Uhr)

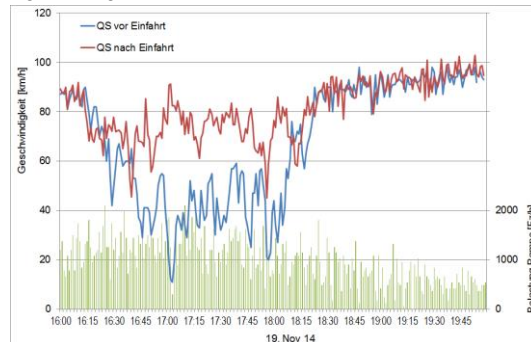
Erkenntnisse

- ⇒ Eine Belastung von bis zu 6'000 Fz/h während der Spitzenstunde liegt im Bereich der Leistungsfähigkeit einer dreistreifigen Autobahn. Unter Berücksichtigung der Verflechtungen vor dem Autobahndreieck Brüttisellen muss der Abschnitt als überlastet beurteilt werden.

9.5 Geschwindigkeitsverlauf Stammlinie i

In Abb. 55 sind in Abhängigkeit des Betriebs der Rampenbewirtschaftung einerseits der Geschwindigkeitsverlauf auf der Stammlinie (Querschnittswert über alle drei Fahrstreifen) vor und nach der Einfahrt Wallisellen sowie andererseits die Belastung der Einfahrtsrampe dargestellt.

Rampenbewirtschaftung nicht in Betrieb
19. 11. 2014



Rampenbewirtschaftung in Betrieb
5. 11. 2014

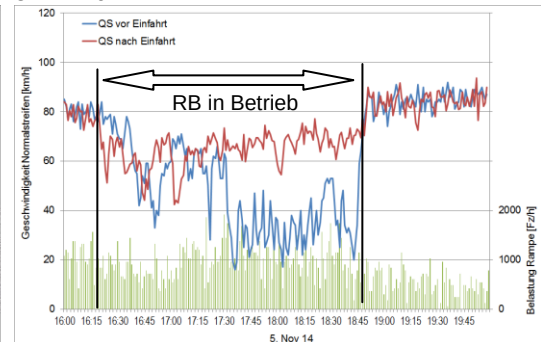


Abb. 55 Geschwindigkeitsverlauf auf Stammlinie und Belastung auf Einfahrtsrampe

Erkenntnisse

- ⇒ Der Geschwindigkeitseinbruch konnte auch mit dem Betrieb der Rampenbewirtschaftung nicht vermieden werden (QS vor Einfahrt). Das Geschwindigkeitsniveau pendelt sich unabhängig des Betriebs der RB in etwa auf demselben Niveau ein (rund 35 km/h).
- ⇒ Die Auswertung zeigt, dass Belastungen auf der Rampe von über 1'500 Fz/h (25 Fz pro Minute) unabhängig vom Betrieb der RB zu einem Geschwindigkeitseinbruch auf der Stammlinie führen.
- ⇒ Mit der Rampenbewirtschaftung kann sich das Geschwindigkeitsniveau bei tieferen Belastungen auf der Rampe tendenziell länger stabilisieren. Während knapp 60 Minuten konnte das Geschwindigkeitsniveau in etwa konstant bei 60 km/h gehalten werden.

9.6 Rückstau auf Stammlinie

Anhand der Videoaufzeichnungen wurde der Verkehrsablauf während der Hauptverkehrszeiten auf der Stammlinie analysiert und ausgewertet. Leider standen nur Videoaufnahmen während der Bewirtschaftung der Rampe zur Verfügung, da während dem Blindbetrieb die Videokameras noch nicht aufgeschaltet waren.

Die Auswertung zeigt, dass die Stauwurzel zwischen dem Anschluss Wallisellen und dem Autobahndreieck Brüttisellen liegt. Die Ursache für den Geschwindigkeitseinbruch in diesem Abschnitt dürfte bei den häufigen Fahrstreifenwechseln und den Verflechtungen liegen. In der folgenden Bildabfolge ist der Staufortbildung dargestellt. Dabei kann festgestellt werden, dass der Rückstau innert kurzer Zeit über den Anschluss Wallisellen anwächst (vgl. Zeitangaben auf Fotos in Abb. 56 von links nach rechts: 16:31, 16:31, 16:32).



Abb. 56 Stauaufbau auf der Stammlinie

Erkenntnisse

- ⇒ Das Anwachsen des Rückstaus über den Anschluss Wallisellen führt dazu, dass die Fahrzeuge bei der Einfahrt Wallisellen nur mit grosser Behinderung auf die Stammlinie einfahren können und sich auf dem Beschleunigungsstreifen stauen. Die Wirkung der Rampenbewirtschaftungsanlage verpufft aufgrund des Rückstaus auf der Stammlinie.
- ⇒ Die hohe Verkehrsbelastung auf der Einfahrt Wallisellen (über 1'200 Fz/h) führt zu vielen Fahrstreifenwechsel vor dem Autobahndreieck Brüttisellen. Diese bewirken zusätzliche Behinderungen im Verkehrsablauf auf der Stammlinie. Mit der Rampenbewirtschaftung und einer Umlaufzeit von vier Sekunden (→ alle 2 sec ein Fahrzeug) können diese konfliktträchtigen Fahrmanöver nicht verhindert und nur bedingt entschärft werden.

9.7 Wirkung der Rampenbewirtschaftung

Ziel der Rampenbewirtschaftung ist das Zerstückeln von zufahrenden Fahrzeugpulk, sodass die Fahrzeuge einzeln auf die Stammlinie einfahren. Dieses Ziel konnte mit der Rampenbewirtschaftung weitgehend erreicht werden. Die Auswertung der Videoaufnahmen zeigt, dass die einzeln einfahrenden Fahrzeuge auf der Stammlinie eine Lücke finden und so ohne Beeinträchtigung des Verkehrsablaufs auf der Stammlinie einfahren können. Eine wichtige Voraussetzung ist jedoch ein genügend langer Beschleunigungsstreifen, so dass sich die Fahrzeuge dem Geschwindigkeitsniveau auf der Stammlinie anpassen und eine genügend grosse Lücke abwarten können. Zudem sind ein minimales Geschwindigkeitsniveau und Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen auf der Stammlinie Voraussetzung. Bei Stau auf der Stammlinie kann die Rampenbewirtschaftung nicht funktionieren.

In der folgenden Abbildung sind die Zeitlücken mit und ohne Bewirtschaftung der Rampe dargestellt. Ausgewertet wurde der Zeitraum zwischen 16.00 und 20.00 Uhr vom 5. Nov. 2015 (mit Bewirtschaftung) und 19. Nov. 2015 (ohne Bewirtschaftung). Die Auswertung zeigt, dass mit der Bewirtschaftung der Rampe die Länge der Zeitlücken insbesondere im Bereich der kurzen Zeitlücken (bis ca. 2 sec) um durchschnittlich 0.4 sec zunimmt.

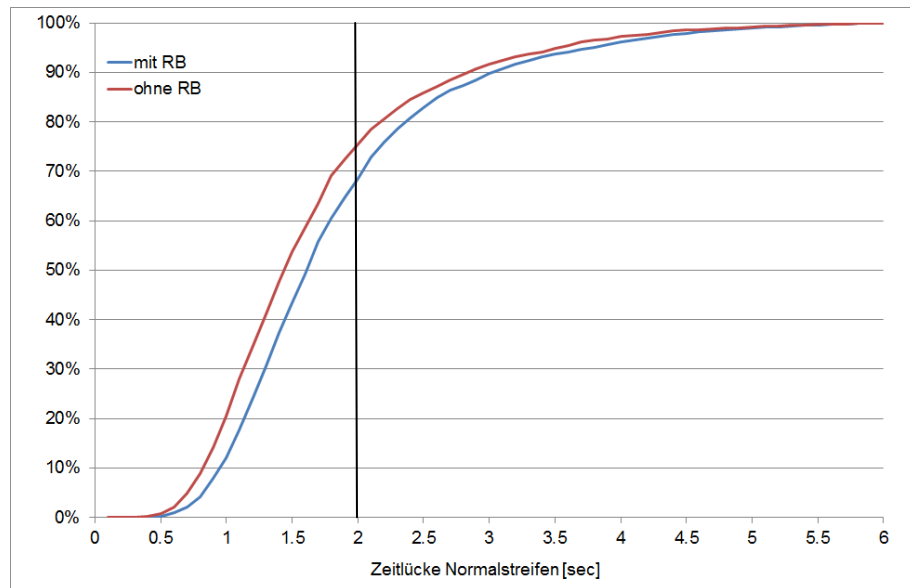


Abb. 57 Auswertung der Zeitlücken Normalstreifen zwischen 16.00 und 20.00 Uhr

Erkenntnisse

- ⇒ Mit der Rampenbewirtschaftung kann durch die Zerstückelung der Fahrzeugpuls die Länge der mittleren Zeitlücken erhöht und der Anteil zu kurzer Zeitlücken reduziert werden. Ohne Bewirtschaftung der Rampe liegt der Anteil kurzer Zeitlücken (< 2 sec) während der Abendspitze bei 75%. Mit der Bewirtschaftung konnte der Anteil auf unter 70% reduziert werden.

In der folgenden Abbildung ist die Länge der Zeitlücken in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit auf der Stammlinie dargestellt. Dabei zeigt sich, dass mit der Bewirtschaftung der Rampe bei Geschwindigkeiten zwischen 55 km/h und 85 km/h um bis zu 0,4 Sekunden längere Zeitlücken gemessen wurden als ohne Bewirtschaftung. Bei Geschwindigkeiten unterhalb 55 km/h stellt sich auf der Stammlinie ein stockender Kolonnenverkehr ein und die Wirkung der Rampenbewirtschaftung geht verloren. Bei Geschwindigkeiten über 80 km/h schaltet die Bewirtschaftung der Rampe aus.

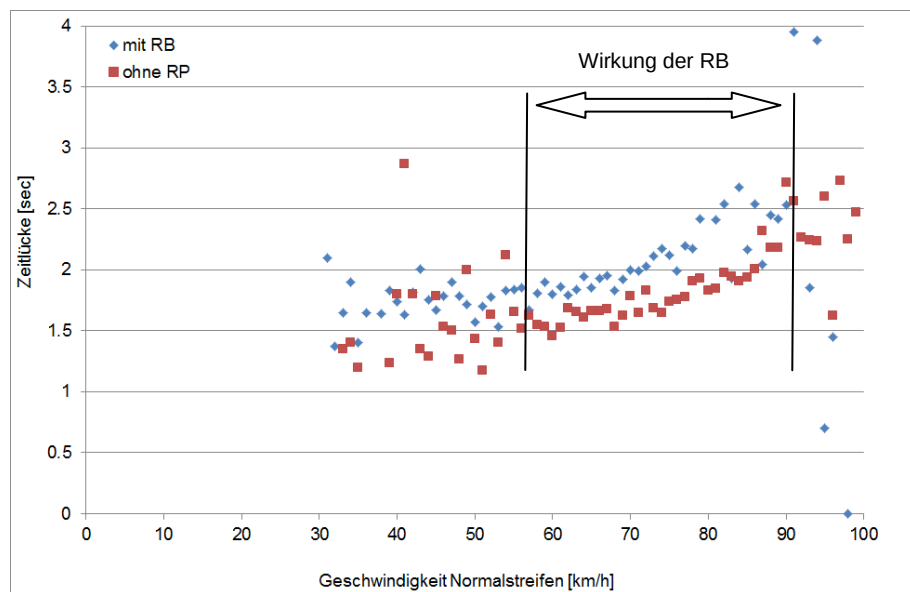


Abb. 58 Länge der Zeitlücken in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Erkenntnisse

- ⇒ Bei einem hohen Verkehrsaufkommen und einem Geschwindigkeitsniveau über 55 km/h kann mit der Bewirtschaftung der Rampe die Länge der Zeitlücke um bis zu 0.4 sec erhöht werden. Dabei nimmt unabhängig einer Bewirtschaftung mit zunehmender Geschwindigkeit die Länge der mittleren Zeitlücken zu.
- ⇒ Bei einem Verkehrszusammenbruch (Stau) auf der Stammlinie kann auch mit der Bewirtschaftung der Rampe keine Verbesserung der Verkehrsqualität erzielt werden. Die Länge der Zeitlücke ist jedoch auch bei tiefen Geschwindigkeiten (zwischen 30 und 55 km/h) während der Bewirtschaftung tendenziell grösser als ohne Bewirtschaftung.

Durch die längeren Zeitlücken bei gleichen Geschwindigkeiten nimmt mit dem Betrieb der Rampenbewirtschaftung die Kapazität ab. In der folgenden Abbildung sind die Belastungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und der Bewirtschaftung der Rampe dargestellt. Dabei wurde nur das Geschwindigkeitssegment 55 bis 85 km/h ausgewertet, während dem die Bewirtschaftung in Betrieb war und sich die Fahrzeuge auf der Stammlinie nicht stauten.

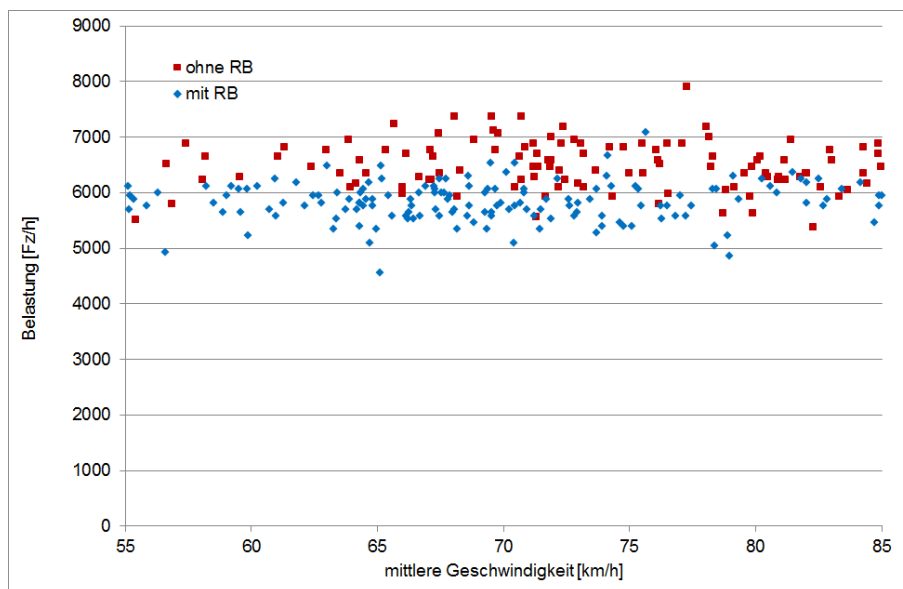


Abb. 59 Q-V Diagramm mit / ohne Bewirtschaftung

Erkenntnisse

- ⇒ Unabhängig der mittleren Geschwindigkeit auf der Stammlinie bleibt die Leistung zwischen 55 und 85 km/h konstant.
- ⇒ Die durch die Bewirtschaftung der Rampe erzeugte Verlängerung der Zeitlücken führt bei gleichen Geschwindigkeiten zu einer Leistungsreduktion von rund 500 Fz/h auf der Stammlinie.

10 Folgerungen und Fazit

Die nachfolgend beschriebenen Erkenntnisse stammen aus der Auswertung der Bestandsaufnahme wie auch aus den Ergebnissen der Analyse des Pilotbetriebs. Die daraus abgeleiteten Folgerungen werden für das Fazit verwendet.

10.1 Einsatzmöglichkeiten

Die Rampenbewirtschaftung soll zu einem stabilen Verkehrsfluss auf der Stammlinie auf möglichst hohem Leistungsniveau beitragen. Aufgrund der Erkenntnisse der durchgeführten Untersuchungen beschränkt sich der Einsatz auf das Verhindern von konflikträchtigen Einfädelungsvorgängen und Fahrstreifenwechseln durch das Aufteilen von einfahrenden Fahrzeugpulks. Durch die Rampenbewirtschaftung soll die Leistung des Anschlusses nicht reduziert werden sondern die zufahrenden Fahrzeugpuls so aufgeteilt werden, dass die Fahrzeuge einzeln in die Stammlinie einfahren.

In Abhängigkeit der Lage des Anschlusses im Netz ergeben sich folgende Ausgangslagen für den Einsatz von Rampenbewirtschaftungen.

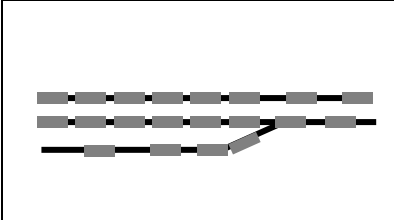
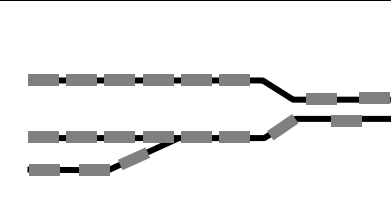
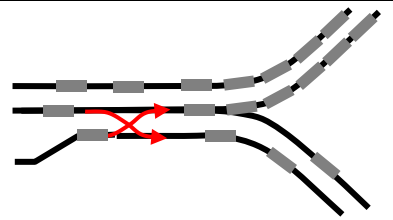
stark belasteter Anschluss	Anschluss vor Engpass	Anschluss vor Verzweigung
		
Rückstau durch stark belasteten Anschluss Stauwurzel im Bereich der Einfahrt	Rückstau durch Engpass (z.B. Tunnel) im System Stauwurzel vor dem Anschluss; Rückstau über Anschluss zurück	Rückstau von Engpass bis in Verzweigung zurück Stauwurzel vor dem Anschluss; Rückstau bis in Verzweigungsbe- reich
vermeiden von konflikträchtigen Einfädelungsvorgängen und Fahrstreifenwechsel erhöhen der Verkehrssicherheit im Bereich des Anschlusses erhöhen der Leistung auf der Stammlinie	reduzieren der Behinderungen durch einfahrende Fahrzeuge verbessern des Verkehrsablaufs auf der Stammlinie	gewährleisten von sicheren Fahrstreifenwechseln durch Schaffen von künstlichen Lücken

Abb. 60 Lage des Anschlusses im Netz

Erkenntnisse

- ⇒ Rampenbewirtschaftungen bei Anschlüssen im Bereich von Leistungsengpässen zeigen in der Regel einen hohen Nutzen. Die Rampenbewirtschaftung ist eine geeignete Massnahme, zufahrende Fahrzeugpuls aufzulösen.
- ⇒ Die Kenntnisse der Zusammenhänge und Auswirkungen der Lage des Anschlusses sowie des Leistungsengpasses sind für die Beurteilung des Nutzens sowie der Ausgestaltung der Rampenbewirtschaftung notwendig.
- ⇒ Die geeignete Lage der Erfassung der Verkehrsdaten (im Bereich des Leistungsengpasses auf der Stammlinie) ist für eine hohe Erkennungsrate, kurze Erkennungszeiten sowie ein zuverlässiges Steuern von grosser Bedeutung.

- ⇒ Bei zu grossen Distanzen zwischen dem Anschluss und dem Leistungsengpass (> 1'000 m) verpufft die Wirkung der Steuerung ungenutzt. Verzweigungsbauwerke oder zusätzliche Anschlüsse zwischen dem zu bewirtschaftenden Anschluss und dem Leistungsengpass verringern die Wirkung der Bewirtschaftung stark.

10.2 Steuerung infolge Verkehrsgeschehen auf Stammlinie

Die Untersuchungen zeigten, dass die Steuerung der Rampenbewirtschaftung adäquat auf den Verkehrs- und Geschwindigkeitsverlauf auf der Stammlinie reagiert. Aufgrund der Iterationen bei der Steuerung, die ein „Flattern“ der Schaltungen vermeiden, schaltet sich die Bewirtschaftung der Rampe tendenziell zu spät ein.

Zum Detektieren des Verkehrsablaufs auf der Stammlinie eignet sich der Überholstreifen (bzw. zweite Überholstreifen). Einbrüche im Geschwindigkeitsniveau bzw. eine Verdichtung des Verkehrs zeigen sich auf diesem Fahrstreifen ausgeprägter als bei einem Mittelwert über alle Fahrstreifen. Kurzzeitige lokale Ereignisse werden durch die Iterationsschritte bis zur Einschaltung ausgeglättet, sodass Fehlschaltungen vermieden werden können.

Erkenntnisse

- ⇒ Beim Einschaltvorgang ist die Anzahl Iterationsschritte bei der Prüfung des Verkehrsablaufs zu minimieren. Ein zweckmässiger Kompromiss zwischen einer stabilen Steuerung und einer zeitnahen Einschaltung liegt bei fünf Iterationsschritten à 30 sec. Für die Ausschaltung sind zehn Iterationsschritte zweckmässig.
- ⇒ Die Rampenbewirtschaftung darf bei einem Anschluss nur durch einen Querschnitt gesteuert werden. Verschiedene Querschnitte erschweren das Justieren der Steuerung. Der Verkehrs- und Geschwindigkeitsverlauf auf der Stammlinie soll anhand der Daten des Überholstreifens ermittelt werden.
- ⇒ Die primäre Grenze der Steuerung, die sich auf den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Belegungsgrad (Q-B – Diagramm) abstützt, ist ein zuverlässiger Indikator zur Steuerung der Rampenbewirtschaftung.

10.3 Steuerung infolge Verhältnisse auf Rampe

Die Umlaufzeit der Rampen-LSA ist abhängig von der Belastung auf der Rampe und dem vorhandenen Stauraum. Dabei sollte sie einerseits so hoch wie möglich gewählt werden (max. 10 sec) und andererseits so kurz, dass ein Rückstau auf das untergeordnete Netz vermieden werden kann. Neben der Steuerung mit der Trendprognose muss der Stauraum der Rampe überwacht werden, sodass rechtzeitig mit einer Verkürzung der Umlaufzeit das Überstauen der Rampe und somit eine Notausschaltung der Rampen-LSA verhindert werden kann.

Erkenntnisse

- ⇒ Die Umlaufzeit der Rampen-LSA muss variabel und in Abhängigkeit der Belastung auf der Rampe festgelegt werden können. Mit einer hohen Umlaufzeit wird die Wirkung grundsätzlich verbessert. Umlaufzeiten über zehn Sekunden führen jedoch zu keiner Verbesserung des Verkehrsablaufs auf der Stammlinie.
- ⇒ Die Rampen-LSA ermöglicht trotz hoher Belastung (Spitzenwerte von über 350 Fz/15 min → 1'400 Fz/h) auf der Einfahrtsrampe ein sicheres und flüssiges Einfädeln. Bei Umlaufzeiten von fünf Sekunden (zweistreifige Rampe) fährt alle 2.5 Sekunden ein Fahrzeug auf die Stammlinie. Durch diesen kurzen Zeitabstand zwischen den Fahrzeugen geht die Wirkung der Rampenbewirtschaftung weitgehend verloren.

- ⇒ Die Akzeptanz der Bewirtschaftung der Rampe ist in der Regel gegeben. Insbesondere bei einem Rückstau vor der Rampen-LSA wurden nur vereinzelte Missachtungen beobachtet.

10.4 Wirkung und Grenzen der Rampenbewirtschaftung

Trotz der ungünstigen örtlichen Randbedingungen (die Einfahrt Wallisellen liegt rund 1'800 m vor dem Autobahndreieck Brüttisellen, damit überlagern sich die Fahrmanöver der Einfahrt und der Verzweigung), welche die Wirkung der Rampenbewirtschaftung beeinflussen, konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden.

Erkenntnisse

- ⇒ Mit der Bewirtschaftung der Rampe können die Fahrzeugpuls aufgelöst werden, so dass die Fahrzeuge einzeln auf die Stammlinie einfahren. Trotz den hohen Belastungen auf der Einfahrtsrampe, die zu sehr kurzen Umlaufzeiten führt, konnte dieses Ziel weitgehend erreicht werden.
- ⇒ Die Länge der mittleren Zeitlücken konnte mit der Bewirtschaftung der Rampe erhöht und der Anteil zu kurzer Zeitlücken reduziert werden. Die längeren Zeitlücken führen zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit und tragen so zu einem stabileren Verkehrsablauf bei.
- ⇒ Mit der der Bewirtschaftung der Rampe konnte der Geschwindigkeitseinbruch auf der Stammlinie verzögert werden. Aufgrund der hohen Belastung auf der Einfahrtsrampe, die zu sehr kurzen Umlaufzeiten führt, jedoch nicht verhindert werden.
- ⇒ Die höheren Zeitlücken führen bei gleichen mittleren Geschwindigkeiten auf der Stammlinie jedoch zu einer Reduktion der Leistung des Abschnittes. Die Leistung während der Bewirtschaftung liegt (zwischen 55 km/h und 85 km/h) in etwa konstant bei rund 6'000 Fz/h. Ohne Bewirtschaftung pendelte sich die Leistung bei 6'500 Fz/h ein.
- ⇒ Bei Umlaufzeiten unter vier Sekunden (= Belastung auf Rampe über 900 Fz/h) nimmt die Wirkung der Bewirtschaftung ab. Die Abstände der Fahrzeuge sind zu kurz um ein konfliktfreies Einfahren auf die Stammlinie gewährleisten zu können.
- ⇒ Mit der Bewirtschaftung der Rampe kann die hohe Anzahl Fahrstreifenwechsel im Zufahrtsbereich zum Autobahndreieck Brüttisellen nicht vermieden werden.
- ⇒ Ein überlanger Beschleunigungsstreifen ermöglicht den einfahrenden Fahrzeuglenkenden eine bessere Anpassung an den Verkehrsablauf auf dem Normalstreifen und gewährleistet eine erhöhte Sicherheit beim Einfahren auf die Stammlinie.
- ⇒ Rückstaus auf der Stammlinie im Zufahrtsbereich zum Autobahndreieck Brüttisellen führen dazu, dass sich die einfahrenden Fahrzeuge teilweise auf dem Beschleunigungsstreifen stauen. Diese Rückstaus sind jedoch nicht auf die Bewirtschaftung der Rampe zurückzuführen.

11 Empfehlungen

Mit den Ergebnissen aus den Untersuchungen können die Anforderungen an das Regelungsverfahren festgelegt und Vorgaben für die Ausgestaltung sowie die Steuerung der Rampenbewirtschaftung angegeben werden.

- Rampenbewirtschaftungen bei Anschlüssen im Bereich von Leistungsengpässen zeigen in der Regel einen hohen Nutzen und können zum Auflösen der zufahrenden Fahrzeugpuls empfohlen werden.
- Bei der Beurteilung des Nutzens sowie bei der Ausgestaltung der Rampenbewirtschaftung sind die Kenntnisse der Zusammenhänge und Auswirkungen der Lage des Anschlusses sowie des Leistungsengpasses zu berücksichtigen.
- Für eine hohe Erkennungsrate, kurze Erkennungszeiten sowie ein zuverlässiges Steuern der Rampenbewirtschaftung muss die Lage zur Erfassung der Verkehrsdaten auf den Leistungsengpass auf der Stammlinie ausgerichtet werden.
- Grosse Distanzen (länger 1.0 km) zwischen dem bewirtschafteten Anschluss und dem Leistungsengpass sind nicht zu empfehlen, da in diesem Fall die Wirkung der Rampenbewirtschaftung den Zweck verfehlt. Verzweigungsbauwerke oder zusätzliche Anschlüsse zwischen dem zu bewirtschaftenden Anschluss und dem Leistungsengpass verringern die Wirkung der Bewirtschaftung stark.

Damit eine optimale Wirkung und Akzeptanz der Rampenbewirtschaftung erzielt wird, werden die folgenden Massnahmen empfohlen:

- frühzeitiges Erkennen von Änderungen des Verkehrsflusses (Einschalten bei Verdichtung und Ausschalten bei Normalisierung des Verkehrsflusses auf der Stammlinie)
- keine Schaltungen bei Einzelereignissen von weniger als drei Minuten
- mit einem Stabilitätstest (Iteration) soll ein Flattern der Steuerung (Ein- und Ausschalten innerhalb kurzer Zeitabstände) verhindert werden
- klare Definition der Ein- und Ausschaltkriterien für Zuverlässigkeit der Steuerung
- rechtzeitiges Erkennen der Überstaugefahr des vorgelagerten Knotens
- benutzerfreundliche Parametrierung sowie Anpassung der Grenzwerte für einfaches Kalibrieren der Steuerung
- sehr hohe Wartezeiten (>10 min) auf den Rampen werden von den Fahrzeuglenkenden nicht akzeptiert (Ausweichverkehr auf das untergeordnete Netz)

Hinsichtlich Funktion, Steuerung und Ausrüstung werden die folgenden Anforderungen empfohlen:

Funktion: Die Rampenbewirtschaftung muss bei einer Verdichtung des Verkehrsflusses auf der Stammlinie im Bereich des Anschlusses einschalten, damit die zufahrenden Fahrzeugpuls aufgelöst werden. Dabei dürfen einerseits kurze Einzelereignisse nicht zum Einschalten der Rampenbewirtschaftung führen und andererseits darf die Anlage nicht erst bei Stau auf der Stammlinie reagieren.

Steueralgorithmus: Der Steueralgorithmus umfasst die Ablauflogik zum Erfassen und Bewerten des Verkehrszustandes beziehungsweise seiner Veränderung auf der Stammlinie und der Rampe und leitet daraus die Anforderungen an die Steuerung ab. Zur Bestimmung des Verkehrsablaufes und des Verkehrszustandes auf der Stammlinie wird das McMaster – Modell empfohlen.

- McMaster-Modell:** Das McMaster – Modell ist ein Steueralgorithmus, der auf der Stammlinie im Bereich der Einfahrt den Verkehrsablauf beurteilt und aufgrund der Kennwerte zwischen den Zuständen „ungestört“ und „gestört“ unterscheidet. Dabei wird der Verkehrsablauf aufgrund einer primären und zwei sekundären Grenzen beurteilt. Die primäre Grenze basiert auf dem Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke (q) und Belegungsgrad (b) und wird im q-b - Diagramm abgebildet.
- Regelungsverfahren:** Das gewählte Regelungsverfahren ermöglicht das zuverlässige Erkennen eines gestörten beziehungsweise ungestörten Verkehrsablaufes auf der Stammlinie und ermöglicht das Festlegen der Umlaufzeit sowie das Überwachen der Rückstaulänge.
- Leistungsfähigkeit:** Die maximale Leistungsfähigkeit einer einstreifigen Rampe liegt bei 900 Fz/h. Aufgrund von Schwankungen der Verkehrsmenge liegt die effektive Leistungsfähigkeit bei rund 600 bis 700 Fz/h. Bei zweistreifigen Rampen liegt die Leistungsfähigkeit bei rund 1'200 Fz/h. Aufgrund der hohen Belastung und der kurzen Zeitabstände zwischen den einfahrenden Fahrzeugen (3 sec) geht die Wirkung der Bewirtschaftung jedoch weitgehend verloren.
- Umlaufzeit:** Die Umlaufzeit der Rampenbewirtschaftung soll einerseits so hoch wie möglich gewählt werden (max. 10 sec) und andererseits so kurz, dass ein Rückstau auf das untergeordnete Netz vermieden werden kann. Umlaufzeiten von über 10 sec führen zu keiner weiteren Verbesserung des Verkehrsablaufes.
- Überstauen:** Die Umlaufzeit der Rampenbewirtschaftung muss so festgelegt werden, dass sich der Rückstau auf der Rampe nicht zum vorgelagerten Knoten zurückbilden kann. Um in Ausnahmesituationen das Überstauen des vorgelagerten Knotens verhindern zu können, muss der Stauraum überwacht und gegebenenfalls die Leistungsfähigkeit der Rampenbewirtschaftung erhöht oder die Anlage im Notfall ausgeschaltet werden.
- Länge Stauraum:** Die Länge des Stauraumes ist abhängig von der einfahrenden Verkehrsmenge, ihrer Verteilung sowie der Leistungsfähigkeit (Umlaufzeit) der Rampenbewirtschaftung. Der Stauraum muss genügend lang ausgebildet werden damit Schwankungen bei den zufahrenden Fahrzeugen aufgenommen werden können ohne dass der nachgeordnete Knoten überstaut wird. Der Stauraum wird nicht auf das Verlagern des Rückstaus von der Stammlinie auf die Rampe ausgerichtet, sondern muss nur kurzzeitige Schwankungen der zufahrenden Verkehrsmenge abdecken können.
- Lage Stauraumes:** Der Stauraum liegt in der Regel auf der Rampe und das Lichtsignal der Rampenbewirtschaftung muss so angeordnet werden, dass einerseits in der Zufahrt ausreichender Stauraum für wartende Fahrzeuge vorhanden ist und andererseits eine genügend lange Beschleunigungsstrecke für die anfahrenen Fahrzeuge gewährleistet werden kann. Bei engen Platzverhältnissen bei den Anschlüssen kann der Stauraum zweistreifig ausgebildet oder der Stauraum auf dem Standstreifen eingerichtet werden. Bei der Ausgestaltung des Stauraumes müssen die Bedürfnisse der Blaulichtorganisationen mitberücksichtigt werden.

- Messquerschnitt: Die Lage des Messquerschnittes ist massgebend für einen hohen Nutzen der Rampenbewirtschaftung. Dabei beeinflusst die Art und Lage des Messquerschnittes die Wirkung der Rampenbewirtschaftung stark. Grundsätzlich muss bei stark belasteten Anschlüssen der Verkehrsablauf auf der Stammlinie im Bereich des Anschlusses erfasst werden. Bei speziellen Anwendungen (vor Engpässen oder Verzweigungen) muss der Messquerschnitt auf die örtlichen Gegebenheiten ausgerichtet werden.
- Datenerfassung: Bei den Messquerschnitten werden alle Fahrstreifen separat überwacht und bereits eine Veränderung des Verkehrszustandes auf nur einem Fahrstreifen löst eine Anforderung an die Steuerung aus. Auf mehrere Messquerschnitte zum Erfassen des Verkehrszustandes sollte verzichtet werden, da einerseits kein zusätzlicher Nutzen generiert werden kann und andererseits das Kalibrieren des Systems erschwert wird.

Anhänge

I	Parametrierung.....	91
---	---------------------	----

I Parametrierung

Parametrierung bei Aufnahme des Regelbetriebs am 29. Nov. 2014, im Rahmen des Probetriebes modifizierte Parameter sind gelb markiert.

Name	Bereich	Akt. Wert (Default)	Beschreibung
Werkparameter für Steueralgorithmus Stammlinie *)			
SI_t	Intervall in sec 30, 60, 180, 300, 360	30 sec (30 sec)	Intervall Verkehrserfassung auf der Stammlinie
Sa	0..255	1.7 (1.7)	QB-Grenzlinie, Faktor a
Sb	0..255	0.8 (0.8)	QB-Grenzlinie, Faktor b
SQ_{Korrektur}	1...65535 Fz/Int.	-2 (2)	QB-Grenzlinie, Q-Korrektur
GQ_{gest}	0...65535 Fz/Int.	30 (30)	Grenzwert oben für Belastung (gest. Verkehrsablauf)
GB_{gest}	0...100 %	25 (70)	Grenzwert oben für Belegung (gest. Verkehrsablauf)
GV_{gest}	0...250 km/h	60 (50)	Grenzwert oben für Geschwindigkeit (gest. Verkehrsablauf)
Y_{maxgest}, Z_{maxgest},	0...65535	10 (10)	Anzahl Iterationsschritte bis Schaltung erfolgt
GQ_{ungest}	0...65535 Fz/Int.	20 (20)	Grenzwert unten für Belastung (ungest. Verkehrsablauf)
GB_{ungest}	0..1.00 %	15 (60)	Grenzwert unten für Belegung (ungest. Verkehrsablauf)
GV_{ungest}	0...1000 Fz/Int.	80 (60)	Grenzwert unten für Geschwindigkeit (ungest. Verkehrsablauf)
Y_{maxungest}, Z_{maxungest},	0...65535	10 (10)	Anzahl Iterationsschritte bis Abschaltung erfolgt
S_{FS}	1...3	1 (1)	Massgebender Fahrstreifen für Steueralgorithmus (1 = zweiter Überholstreifen 2 = erster Überholstreifen, 3 = Normalstreifen)
Werkparameter für Steueralgorithmus Rampe *)			
RI_t	Intervall in sec, 30, 60, 180, 300, 360	30s (30s)	Intervall Verkehrserfassung auf der Rampe (Verkehrszähler, Stauerfassung)
RQ	1...65535 Fz/Int.	12 (12)	Grenzwert Verkehrsbelastung (Fz/Intervall), auf Grund der Leistungsfähigkeit der Rampenbewirtschaftung
RB	0...100 %	50 (70)	Grenzwert Belegung (%), welcher Stau auf Induktionsschleife anzeigt
RG α	0...1	0.1 (0.1)	Glättungsfaktor α für Mittelwert
RG β	0...1	0.1 (0.1)	Glättungsfaktor β für Prognosewert
Y_{maxStau}	0...65535	4 (4)	Anzahl Iterationsschritte bis Schaltung erfolgt

RGA_t	1...10	3 (3)	Nachlauf: max. Anzahl Umlaufzeit-Intervalle bis All-Rot, wenn keine Belegung der Grünanforderungsschleifen vorliegt
RGA_{on}	True, false	true (true)	Ein-/Ausschalten der Grünanforderungsschleifen
Werksparemeter für Umlaufzeiten			
UZ1_t	Anz. sec 4...24	6 (8)	Umlaufzeit 1
UZ2_t	Anz. sec 4...24	5 (6)	Umlaufzeit 2
UZ3_t	Anz. sec 4...24	4 (5)	Umlaufzeit 3
UZM_t	Anz. sec 4...24	8 (8)	Umlaufzeit bei manueller Aktivierung der Rampenbewirtschaftung
UZ1_{on}	True, false	true (true)	Ein-/Ausschalten der Umlaufzeit 1
UZ2_{on}	True, false	true (true)	Ein-/Ausschalten der Umlaufzeit 2
UZ3_{on}	True, false	true (true)	Ein-/Ausschalten der Umlaufzeit 3
Werksparemeter für Störungsverhalten			
VA_t	Verbindungsausfallzeit in sec, 1...65535	300 sec (300 sec)	Verzögerungszeit, welche bei ausgefallener Verbindung zur Streckenstation SST 218 abgewartet und die Rampenbewirtschaftung abgeschaltet wird

Glossar

Begriff	Bedeutung
ASP	Abendspitze [Fz/h]
BZ	Betriebszustand
HVZ	Hauptverkehrszeit [Fh/h]
LSA	Lichtsignalanlage
RB	Rampenbewirtschaftung
SN	Schweizer Norm (SN)
SSV	Signalisationsverordnung (SSV)
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
k	Verkehrsdichte [Fz/km]
q	Verkehrsstärke [Fz/h]
sec	Sekunde
v	Geschwindigkeit [km/h]

Literaturverzeichnis

-
- [1] N1/N20 Nordumfahrung Zürich, Abschnitt Limmattal – Gubrist
Sofortmassnahmen Verkehrslenkung, Wirkungskontrolle Limmat- und Furtal
Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt, Planung und Steuerung
Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon; August 2005

 - [2] N1/N20 Nordumfahrung Zürich, Abschnitt Limmattal – Gubrist
Optimierung Sofortmassnahmen Verkehrslenkung, Teilgebiet Limmattal und Nordring
Baudirektion K
Kanton Zürich, Tiefbauamt, Planung und Steuerung
Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon; Februar 2007

 - [3] N1/N20 Nordumfahrung Zürich, Abschnitt Limmattal – Gubrist
Wirkungskontrolle II, Rampenbewirtschaftung
Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich, Verkehr und Infrastruktur
Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon; September 2008

 - [4] N1/N20 Nordumfahrung Zürich, Abschnitt Limmattal – Gubrist
Wirkung der lokalen Rampenbewirtschaftung auf Verkehrsfluss
Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich, Verkehr und Infrastruktur
Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon; März 2009

 - [5] VSS 1999/139: Rampenbewirtschaftung auf Autobahnen
Ingenieurbüro Dr. P. Pitzinger, Zürich 2002

 - [6] Norm SN 640 807 Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen
Rampenbewirtschaftung, Grundlagen
VSS-Expertenkommission 3.06, Februar 2005

 - [7] Zuflussdosierung und Zufallcharakter der Strassenkapazität auf Schnellstrassen
Strassenverkehrstechnik, Heft 3, 2006
B. Kerner, Sindelfingen

 - [8] Entwicklung und vergleichende Bewertung eines poraktiven Verfahrens zur Zuflussregelung
R, Trapp, Strassenverkehrstechnik 12.2008

 - [9] VSS2011/91 Gestion coordonnée des rampes avec des limites de vitesses variables.
ETH Lausanne

 - [10] Optimierung Limmattalerkreuz (inkl. Rampenbewirtschaftung Anschlüsse)
Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich, Verkehr und Infrastruktur Strasse
Amstein + Walthert, Zürich
Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon, 2007

 - [11] Strategie Motorisierter Individualverkehr (MIV)
Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich, Verkehr und Infrastruktur Strasse
Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon, 2006

 - [12] Leitbild Verkehrsmanagement Kanton Zürich, Grundlagen
Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt, Planung und Steuerung
Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon, September 2005

 - [13] Rampenbewirtschaftung am Zürcher Nordring
Strasse und Verkehr, Heft 12, 2005
Dr. N. Bischofberger, Tiefbauamt Kanton Zürich, M. Laube, Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann et al

 - [14] Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Autobahnen
Bundesamt für Strassen, FA 2000/337 Jenni + Gottardi AG, Kilchberg
SNZ Ingenieure und Planer AG, Zürich, Oktober 2004

 - [15] Neuere Entwicklungen der Zuflussregelung in Deutschland
St. Trupat, M. Tepper
Strassenverkehrstechnik, Heft 8, 2004

 - [16] Betriebliche Massnahmen in Einfahrten, Ausfahrten und Verflechtungsbereichen
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, FA 2.203
Universität Hannover, März 2001

 - [17] Rampenbewirtschaftung
Bundesamt für Strassen, FA 22/99
Peter Pitzinger, Beratender Verkehrsingenieur, Zürich, Dezember 2000

 - [18] Der Einfluss einer Zuflussregelung an Anschlussstellen auf die Verbesserung des Verkehrsablaufs auf
Autobahnen
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, FA 3.279
SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH, April 2000

 - [19] Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ 99)
Bundesministerium für Strassenwesen, Ausgabe 1999

-
- [20] Strategien zur Verkehrssteuerung an hoch belasteten BAB-Anschlussstellen
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, FA 3.309
Universität Kassel, November 1999
-
- [21] Entwicklung und vergleichende Bewertung eines proaktiven Verfahrens zur Zuflussregelung
R, Trapp, Strassenverkehrstechnik 12.2008
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 4.9.2014 / 4.11.2015/26.11.2015

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2007/302
Projekttitel: Rampenbewirtschaftung Anforderungen an Regelungsverfahren
Enddatum: Dezember 2015

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Ziele der Forschungsarbeit sind das Entwickeln der Anforderungen an die Regelungsverfahren für Rampenbewirtschaftungen sowie das Aufzeigen der Einsatzmöglichkeiten und Grenzen dieser Anlagen.

Das Vorgehen gliederte sich in drei Phasen. In der ersten Phase wurden auf der Basis der Anschlussstypen und Netzstrukturen sowie der übergeordneten Anforderungen der Verkehrsmanagementpläne und der Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf den Autobahnen die Grundtypen der Rampenbewirtschaftung definiert.

Aus diesen Erkenntnissen wurden die Anforderungen an das Regelungsverfahren festgelegt und die Ausgestaltung sowie die Steuerung der Rampe ausgearbeitet (Phase 2).

In der dritten Phase wurden mit dem Erfassen und Analysieren der unterschiedlichen Kenngrößen die Einsatztauglichkeit und Zielerreichung des Regelungsverfahrens bei der Rampenbewirtschaftung beim A1 Anschluss Wallisellen (Kanton Zürich) überprüft.

Da sich die Realisierung der Rampenbewirtschaftung beim A1 Anschluss Wallisellen verzögerte, ergab sich zwischen dem Abschluss der ersten beiden Phasen sowie der verkehrstechnischen Untersuchungen des Pilotprojekts (Phase 3) ein grösserer zeitlicher Unterbruch.

Mit der Umsetzung der Rampenbewirtschaftung beim A1 Anschluss Wallisellen konnten die verkehrstechnischen Analysen durchgeführt werden. Dabei wurde der Steueralgorithmus überprüft, die Grenzen der Bewirtschaftung aufgezeigt sowie die Wirkungen auf den Verkehrsablauf dargestellt.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Mit der Forschung konnten die Anforderungen an das Regelungsverfahren festgelegt und die Ausgestaltung sowie die Steuerung der Rampe ausgearbeitet werden. Dabei zeigte sich, dass insbesondere bei Einfahrtsrampen im Bereich des Leistungsengpasses die Rampenbewirtschaftung zu einer signifikanten Verbesserung des Verkehrsablaufs auf der Stammlinie führen kann. Zudem konnten verschiedene verkehrstechnische Massnahmen aufgezeigt werden, damit die Steuerung zu optimieren, die Wirkung zu verbessern und die Akzeptanz zu erhöhen. In der dritten Phase konnte die Einsatztauglichkeit und Zielerreichung überprüft werden. Dabei zeigte sich, dass auch bei ungünstigen Randbedingungen die Anforderungen an das Steuerungsmodell mit dem gewählten Steueralgorithmus weitgehend erfüllt und die angestrebten Ziele erreicht werden konnten.

Die Ziele der Forschungsarbeit konnten vollumfänglich erreicht werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Mit den Ergebnissen aus den Untersuchungen können die Anforderungen an das Regelungsverfahren festgelegt und Vorgaben für die Ausgestaltung sowie die Steuerung der Rampenbewirtschaftung angegeben werden.

- Rampenbewirtschaftungen bei Anschlüssen im Bereich von Leistungsengpässen zeigen in der Regel einen hohen Nutzen und können zum Auflösen der zuführenden Fahrzeugpuls empfohlen werden.
- Bei der Beurteilung des Nutzens sowie bei der Ausgestaltung der Rampenbewirtschaftung sind die Kenntnisse der Zusammenhänge und Auswirkungen der Lage des Anschlusses sowie des Leistungsengpasses zu berücksichtigen.
- Für eine hohe Erkennungsrate, kurze Erkennungszeiten sowie ein zuverlässiges Steuern der Rampenbewirtschaftung muss die Lage zur Erfassung der Verkehrsdaten auf den Leistungsengpass auf der Stammlinie ausgerichtet werden.
- Grosse Distanzen (länger 1.0 km) zwischen dem bewirtschafteten Anschluss und dem Leistungsengpass sind nicht zu empfehlen, da in diesem Fall die Wirkung der Rampenbewirtschaftung den Zweck verfehlt. Verzweigungsbauelemente oder zusätzliche Anschlüsse zwischen dem zu bewirtschaftenden Anschluss und dem Leistungsengpass verringern die Wirkung der Bewirtschaftung stark.

Damit eine optimale Wirkung und Akzeptanz der Rampenbewirtschaftung erzielt wird, werden die folgenden Massnahmen empfohlen:

- frühzeitiges Erkennen von Änderungen des Verkehrsflusses (Einschalten bei Verdichtung und Ausschalten bei Normalisierung des Verkehrsflusses auf der Stammlinie)
- keine Schaltungen bei Einzelereignissen von weniger als 3 Minuten
- Mit einem Stabilitätstest (Iteration) soll ein Flattern der Steuerung (Ein- und Ausschalten innerhalb kurzer Zeitabstände) verhindert werden
- klare Definition der Ein- und Ausschaltkriterien für Zuverlässigkeit der Steuerung
- rechtzeitiges Erkennen der Überstaugefährdung des vorgelagerten Knotens
- benutzerfreundliche Parametrierung sowie Anpassung der Grenzwerte für einfaches Kalibrieren der Steuerung
- sehr hohe Wartezeiten (>10 min) auf den Rampen werden von den Fahrzeuglenkenden nicht akzeptiert (Ausweichverkehr auf das untergeordnete Netz)

Publikationen:

ASTRA - Forschungsbericht
Veröffentlichung in "Strasse und Verkehr"

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Bühlmann

Vorname: Fredi

Amt, Firma, Institut: Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

F. Bühlmann



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Begleitkommission ist mit dem Vorgehen, den Untersuchungen und den daraus abgeleiteten Ergebnissen einverstanden. Mit den Erkenntnissen aus der Forschungsarbeit können Anforderungen und Kriterien für das Optimieren der Steuerung von Rampenbewirtschaftungen definiert werden. Die Phasen 1 und 2 wurden termingerecht bis Mitte 2010 abgeschlossen (1. Teil). Aufgrund der Verzögerung der Realisierung der Rampenbewirtschaftung beim A1 Anschluss Wallisellen konnte die dritte Phase (2. Teil) und die Forschung erst 2015 abgeschlossen werden. Die Begleitkommission unterstützte das zweiteilige Vorgehen mit dem Abschluss des ersten Teils bereits 2010 und dem Abschluss der Forschungsarbeit erst nach der verkehrstechnischen Analyse des Pilotbetriebs (Teil 2). Obwohl dieses Vorgehen zu einem Unterbruch der Forschungsarbeit von rund 4 Jahren führte, war die Begleitkommission nicht der Meinung, dass deswegen die Forschungsarbeit nach der 2. Phase abgebrochen werden sollte.

Umsetzung:

Mit dem Pilotprojekt (Phase 3) konnten die theoretischen Ansätze der zweiten Phase umgesetzt und unter realen Bedingungen überprüft werden. Dadurch konnten Verbesserungspotenziale aufgezeigt werden um die technische Ausstattung und die Steuerung bei künftigen Anlagen optimieren zu können. Auch dienen die Erkenntnisse dieser Forschung dazu, zu zeigen wo die Grenzen des Einsatzes einer Rampenbewirtschaftung sind. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit können in die entsprechenden Normen oder Richtlinien des ASTRA einfließen.

weitergehender Forschungsbedarf:

- optimale Gestaltung von hoch belasteten Autobahnanschlüssen (Länge Einfahrtsrampe, Verflechtungsbereich usw.)

Einfluss auf Normenwerk:

Resultate fliessen in bestehende Normen ein, beziehungsweise können als Grundlage für einen Leitfaden dienen

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Bischofberger

Vorname: Nikolaus

Amt, Firma, Institut: VSS FNK 5.1 Verkehrsregelungs- und Beeinflussungssysteme - Lichtsignalanlagen

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

N. Bischofberger *Lukas Ostermayr*
(FAS)

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 01.10.2015

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1522	VSS 2011/106	Normierte gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Grundlagenbericht	2015
1520	ASTRA 2008/013_OBF	Nächtliche Immissionsprognosen von Strassenlärm (Hochleistungsstrassen)	2015
1519	VSS 2009/201	Lärmimmissionen bei Knoten und Kreiseln	2015
1518	SVI 2011/024	Langsamverkehrsfreundliche Lichtsignalanlagen	2015
1517	VSS 2011/103	Bemessungsverkehrsstärken: Ein neuer Ansatz	2015
1516	VSS 2011/711	Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP1: Zeitaspekte und Historisierung	2015
1514	VSS 2006/513_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP3 - Langzeitverhalten des Verbundes	2015
1513	VSS 2005/403	Fließkoeffizienten von feinen Gesteinskörnungen aus der Schweiz	2015
1512	SVI 2004/069	Veloverkehr in den Agglomerationen - Einflussfaktoren, Massnahmen und Potenziale	2015
1511	VSS 2012/601	Die Physik zwischen Salz, Schnee und Reifen	2015
1510	VSS 2005/453	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen	2015
1509	ASTRA 2010/022	Markt- und Nutzermonitoring Elektromobilität (MANUEL)	2015
1508	VSS 2011/716	Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP6: Schnittstellen aus den Auswertungssystemen SIS (SIS-DWH)	2015
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1506	VSS 2006/512_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP2 - Flüssigkunststoff-Abdichtungen, Erfassen der Verbundproblematik	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1504	VSS 2005/504	Druckschwellversuch zur Beurteilung des Verformungsverhaltens von Belägen	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflästerungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassennetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektionierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffbarkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
667	AGB 2008/004	Résistance au déversement des poutres métalliques de pont	2015
666	AGB 2012/015	Structural Identification for Condition Assessment of Swiss Bridges	2015
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des ponts dalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 +	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
	AGB 2006/003		
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		bei Kunstbauten	
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009